Schwebstoffmessung an Ill und Rhein

Diplomarbeit am
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
Department für Wasser – Atmosphäre - Umwelt
an der
Universität für Bodenkultur Wien
Vorstand: O. Univ. Prof. Dipl.- Ing. Dr. H. P. Nachtnebel

Betreuer
Ao. Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. Helmut Michael Habersack
VAss. Dipl. Ing. Willibald Kerschbaumsteiner

Helga Kremser

Wien, 2007

gewidmet

Renate und Wolfgang

Danksagung

Einleitend bedanke ich mich beim Hydrographischen Dienst Vorarlberg für die Möglichkeit, die Messkampagne im Zuge eines Praktikums absolviert haben zu können, und Herrn Dipl.-Ing. Clemens Mathis und Herrn Reinhard Eberle für deren tatkräftige Mithilfe. Dem Leiter der Umweltanalytik des Landes Vorarlberg, Herrn Dr. Christoph Scheffknecht und Herrn Werner Bader, gebührt mein Dank für die Unterstützung der dort durchgeführten Probenanalysen.

Mein besonderer Dank gilt A.o. Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. Helmut Habersack, Dipl. Ing. Petra Lalk und im speziellen, dem <Mann mit dem Blaulicht> Dipl. Ing. Willibald Kerschbaumsteiner für die rundum Betreuung und Durchsicht der Diplomarbeit.

Last but not least möchte ich mich bei den Herren Christian Vallaster und Alejandro Barrado Vagnenzo für deren tatkräftige Mithilfe an der Messstelle Gisingen und meiner Familie, für die großzügige Unterstützung während des gesamten Studiums, bedanken.

Abstract

The data and results of this thesis and the synthesis of other projects on the topic <monitoring of suspended sediments in Austria> serve to produce a guide for measuring suspended sediments.

Within the scope of this thesis, suspended sediment samples from the measuring points Gisingen/Ill and Lustenau/Rhein were gathered in the summer of 2006. These samples were filtered in the laboratories of the Environmental Institute of Vorarlberg and gravimetrically analysed on their suspended sediment concentration. Furthermore, the measuring points were equipped with optical turbidity sensors. Gathering the samples near the optical turbidity sensors enabled the calibration of the turbidity data to actual suspended sediment content.

Suspended sediment samples, once distributed over the measurement cross-section, determine average suspended sediment concentration. These cross profiles were obtained through both multipoint and integration samples. The suspended sediment load concentration on the banks and in cross profile serves as the basis to determine probe and cross profile values. These assessments were subsequently used to calculate the turbidity values of the probes in medium suspended sediment contents. This enabled the quantification of the suspended sediment loads with the converted values of the optical turbidity sensors.

The substantial advantage of this method is, that the suspended sediment load from the continuously available turbidity values can be assessed by determining the conversion and correction factors.

Kurzzusammenfassung

Die Daten und Ergebnisse dieser und weiterer Diplomarbeiten zum Thema „Schwebstoffmessung in Österreich" dienen der Erstellung eines Leitfadens zur Schwebstoffmessung. Der zukünftige Leitfaden wird es den Hydrografischen Diensten der Länder erleichtern ein Schwebstoffbasismessnetz aufzubauen.

Im Sommer 2006 wurden im Rahmen dieser Diplomarbeit an den mit Trübungssonden ausgestatteten Messstellen Gisingen/Ill und Lustenau/Rhein Schwebstoffproben entnommen, im Labor des Umweltinstitutes Vorarlberg filtriert und gravimetrisch auf ihre Schwebstoffkonzentrationen untersucht. Die Entnahme von sondennahen Referenzproben ermöglichte die Kalibrierung der Sondenwerte zu tatsächlichen Schwebstoffgehalten. Über den Messquerschnitt verteilte Schwebstoffentnahmen zur Ermittlung der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil, erfolgten in Form von Vielpunkt- und Integrationsentnahmen.

Diese so gewonnenen Schwebstoffkonzentrationen am Ufer und im gesamten Querprofil dienten als Grundlage zur Bestimmung der Sonden- und Querprofilbeiwerte, mit welchen die Trübungswerte der Sonde in mittlere Schwebstoffgehalte umgerechnet wurden. Die Schwebstofffrachten für den Sommer 2006 konnten somit mit den umgerechneten Trübungswerten der Sonden ermittelt werden.

Diese Vorgehensweise bietet den großen Vorteil, dass durch Ermittlung der Umrechnungs- und Korrekturfaktoren die Schwebstofffracht aus den kontinuierlich vorliegenden Sondenwerten berechnet werden kann.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung 1
1.1 Einleitung und Problemstellung 1
1.2 Zielsetzung 2
2 Beschreibung der Einzugsgebiete 4
2.1 Die Ill 4
2.1.1 Kurzbeschreibung 4
2.1.2 Geologie 6
2.1.3 Klima 8
2.1.4 Hydrologie 8
2.1.5 Messstelle Gisingen/Ill 9
2.2 Der Rhein 10
2.2.1 Kurzbeschreibung 10
2.2.2 Geologie 11
2.2.3 Klima 12
2.2.4 Hydrologie 12
2.2.5 Messstelle Lustenau/Rhein 13
3 Methodik 15
3.1 Direkte Schwebstoffentnahmemethoden 15
3.1.1 Einpunktentnahme (Referenzprobennahme) 15
3.1.2 Vielpunktentnahmen 16
3.1.3 Integrationsentnahme 19
3.1.4 Dauerentnahme 19
3.1.5 Bestimmung des Schwebstoffgehaltes mittels Druckfiltration 20
3.2 Indirekte Messmethoden 22
3.2.1 Optische Messung der Trübung 22
3.3 Auswertungen, Angleichung der Ganglinien und Fracht-berechnung 24
3.3.1 Auswertekonzept 24
3.3.2 Auswertung von Vielpunktentnahmen 24
3.3.3 Auswertung von Integrationsentnahmen 26
3.3.4 Bestimmung der Umrechnungsfunktion von Sondenaufzeichnung in sondennahe Konzentrationen 27
3.3.5 Bestimmung des Querprofilbeiwerts K_Q 28
3.3.6 Frachtberechnung 28
3.4 Messprogramm Gisingen/Ill 29
3.5 Messprogramm Lustenau/Rhein 30
4 Daten und Ergebnisse 31
4.1 Gisingen/Ill 31

4.1.1 Trübungsganglinien und sondennahe Referenzproben 31
4.1.2 Vielpunktentnahmen 31
4.1.3 Integrationsentnahmen 39
4.1.4 Dauerentnahmen 46
4.1.5 Schwebstofftransport und mittlere Schwebstoffgehalte 50
4.1.6 Korrektur der Trübungsganglinie 50
4.1.7 Frachtberechnung 53
4.1.8 Weitere Ergebnisse 54
4.2 Lustenau/Rhein 55
4.2.1 Trübungsganglinien und sondennahe Referenzproben 55
4.2.2 Vielpunktentnahmen 56
4.2.3 Integrationsentnahmen 60
4.2.4 Korrektur der Trübungsganglinie 64
4.2.5 Frachtberechnung 66
4.2.6 Weitere Ergebnisse 67
5 Diskussion der Ergebnisse 70
5.1 Gisingen/Ill 70
5.1.1 Trübungsganglinie und Kalibrierung der Trübungssonde 70
5.1.2 Schwebstoffkonzentration und Schwebstofftrieb 73
5.1.3 Korrektur der Trübungsganglinie 77
5.1.4 Frachtberechnung 79
5.2 Lustenau/Rhein 82
5.2.1 Trübungsganglinie und Kalibrierung der Trübungssonde 82
5.2.2 Schwebstoffkonzentrationen, Umrechnung der Sondenwerte und Querprofilbeiwert 83
5.2.3 Schwebstofftrieb im Querprofil 84
5.2.4 Frachtberechnung 84
6 Zusammenfassung und Schlussfolgerung 85
7 Literaturverzeichnis 89
8 Anhang 93
8.1 Referenzproben 93
8.1.1 Referenzproben Gisingen/Ill 93
8.1.2 Referenzproben Lustenau/Rhein 93
8.2 Messprotokolle 94
8.2.1 Messprotokolle Gisingen/Ill 94
8.2.2 Messprotokolle Lustenau/Rhein 99
8.3 Berechnung des Schwebstofftransports 101
8.3.1 Berechnung des Schwebstofftransports Gisingen/Ill 101

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

C_m	mittlerer Schwebstoffgehalt in Querprofil [mg/l]
C_r	Schwebstoffgehalt der Referenzprobe [mg/l]
C_s	Schwebstoffgehalt [mg/l]
DigHAÖ	Digitaler Hydrologischer Atlas Österreich
FAU	Formazine Attenuation Units
FNU	Formazine Nephelometric Units
FTU	Formazine Turbidity Unit
h	Gewässertiefe von der Sohle gemessen [m]
HD	Hydrografischer Dienst
HQ_{100}	Hundertjähriges Hochwasser
INT	Integrationsentnahme
IWHW	Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
K_Q	Querprofilbeiwert
MQ	Mittelwasser
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
Q	Durchfluss [m^3/s]
T_r	Wert der Trübungssonde
v	Fließgeschwindigkeit [m/s]
v_m	mittlere Fließgeschwindigkeit in einer Lotrechten [m/s]
VP	Vielpunktentnahme

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geografische Lage des Einzugsgebietes Ill 4
Abbildung 2: Wasserrückgabe beim Walgaukraftwerk 5
Abbildung 3: Verlauf der Ill von Feldkirch/Gisingen bis zur Mündung in den Rhein 5
Abbildung 4: Neue Mündung der Ill in den Rhein am Illspitz mit Umgehungsgerinne 6
Abbildung 5: Geologische Übersichtskarte von Vorarlberg 7
Abbildung 6: Mittlere monatliche Abflüsse der Ill/Gisingen 9
Abbildung 7: Pegelhaus bei der Messstelle Gisingen/Ill (li.) und Lage der Messstelle, roter Stern (re., Kartengrundlage: ÖK 50, BEV) 9
Abbildung 8: Pegelstiege mit rechtsseitigem Trübungssondenschutzrohr 10
Abbildung 9: Flugaufnahme des Alpenrheintales bei der Mündung in den Bodensee 11
Abbildung 10: Mittlere MQ und extreme Monatsmittel HMQ/NMQ der Abflüsse bzw. Abflussspenden in Lustenau/Rhein 13
Abbildung 11: Lage des Pegelhauses mit Trübungssonde (grün), Schwebstoffmessstelle (rot) 13
Abbildung 12: das Pegelhaus auf der alten Eisenbahnbrücke Lustenau (li.), der Rhein, Blick stromabwärts vom Pegelhaus zur Schwebstoffentnahmebrücke (mi.) und die Trübungssonde im Schutzrohr bei der alten Eisenbahnbrücke Lustenau (re.) 14
Abbildung 13: Schöpfgeräte: Schwebstoffentnahme am Illufer (li.), Entnahmegerät zur Probenschöpfung von der Brücke (re.) 16
Abbildung 14: links: OTT-Messflügel, rechts: US P61 A Suspended Sediment Sampler 18
Abbildung 15: links: Überdruckfiltrationsgerät des Exikkators) Abbildung 16: Filter im Wägeglas (nach öffnen 21
Abbildung 17: Prinzip der rechnerischen Auswertung einer Schwebstoffvielpunktentnahme 24
Abbildung 18: Abflussganglinie mit den Messtagen im August 2006 an der Messstelle Gisingen/Ill 29
Abbildung 19: Abflussganglinie mit den Messtagen im August und September 2006 an der Messstelle Lustenau/Rhein 30
Abbildung 20: Durchflussganglinie und Sondenaufzeichnung mit entnommenen Referenzproben Gisingen/Ill 31
Abbildung 21: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Vielpunktentnahme am 02.08.2006, Gisingen/Ill 32
Abbildung 22: Grafische Darstellung der Vielpunktentnahme vom 02.08.2006 Gisingen/Ill 33
Abbildung 23: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Vielpunktentnahme am 11.08.2006, Gisingen/Ill 34
Abbildung 24: Grafische Darstellung der Vielpunktentnahme vom 11.08.2006 Gisingen/Ill 35
Abbildung 25: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Vielpunktentnahme am 28.08.2006, Gisingen/Ill 36
Abbildung 26: Grafische Darstellung der Vielpunktentnahme vom 28.08.2006 Gisingen/Ill 37
Abbildung 27: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Vielpunktentnahme am 30.08.2006, Gisingen/Ill 38
Abbildung 28: Grafische Darstellung der Vielpunktentnahme vom 30.08.2006 Gisingen/Ill 39
Abbildung 29: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme am 11.08.2006, Gisingen/Ill 40
Abbildung 30: Grafische Darstellung der Integrationsentnahme vom 11.08.2006 Gisingen/Ill 41

Abbildung 31: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme am 28.08.2006, Gisingen/Ill 42
Abbildung 32: Grafische Darstellung der Integrationsentnahme vom 28.08.2006 Gisingen/Ill 43
Abbildung 33: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme am 30.08.2006, Gisingen/Ill 44
Abbildung 34: Grafische Darstellung der Integrationsentnahme vom 30.08.2006 Gisingen/Ill 45
Abbildung 35: Grafische Darstellung der Dauerentnahme vom 02.08.2006 Gisingen/Ill 46
Abbildung 36: Grafische Darstellung der Dauerentnahme vom 11.08.2006 Gisingen/Ill 47
Abbildung 37: Grafische Darstellung der Dauerentnahme vom 28.08.2006 Gisingen/Ill 48
Abbildung 38: Grafische Darstellung der Dauerentnahme vom 30.08.2006 Gisingen/Ill 49
Abbildung 39: Linearer Zusammenhang der Sondenwerte mit den Werten der Referenzproben (Messstelle Gisingen/Ill) 50
Abbildung 40: Durchfluss-, kalibrierte Trübungsganglinie und Referenzproben der Messstelle Gisingen/ Ill bei Q um 65 m³/s 51
Abbildung 41: Durchfluss-, kalibrierte Trübungsganglinie und Referenzproben der Messstelle Gisingen/Ill bei Q um 145 m³/s 51
Abbildung 42: Zusammenhang Durchfluss zu K_Q-Faktoren (Messstelle Gisingen/Ill) 52
Abbildung 43: Durchfluss und Trübungsganglinie mit entnommenen Referenzproben und korrigierter Schwebstoffganglinie Gisingen/Ill für den Monat August 2006 53
Abbildung 44: Vergleich der 1. und 2. Handschöpfprobe bei der Messstelle Gisingen/Ill 54
Abbildung 45: „Ein-Flaschen-Entnahmegerät" 55
Abbildung 46: Durchflussganglinie sowie originaler und adaptierter Sondenaufzeichnung mit entnommenen Referenzproben Lustenau/Rhein 56
Abbildung 47: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Vielpunktentnahme am 03.08.2006, Lustenau/Rhein 57
Abbildung 48: Grafische Darstellung der Vielpunktentnahme vom 03.08.2006 Lustenau/Rhein 58
Abbildung 49: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Vielpunktentnahme am 13.09.2006, Lustenau/Rhein 59
Abbildung 50: Grafische Darstellung der Vielpunktentnahme vom 13.09.2006 Lustenau/Rhein 60
Abbildung 51: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme am 03.08.2006, Lustenau/Rhein 61
Abbildung 52: Grafische Darstellung der Integrationsentnahme vom 03.08.2006 Lustenau/Rhein 62
Abbildung 53: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme am 13.09.2006, Lustenau/Rhein 63
Abbildung 54: Grafische Darstellung der Integrationsentnahme vom 13.09.2006 Lustenau/Rhein 64
Abbildung 55: Linearer Zusammenhang der Sondenwerte mit den Werten der Referenzproben (Messstelle Lustenau/Rhein) 65
Abbildung 56: nicht zulässiger Zusammenhang des Durchfluss zu K_1-Faktoren (Messstelle Lustenau/Rhein) 66
Abbildung 57: Durchflussganglinie mit entnommenen Referenzproben und kalibrierter Sondenaufzeichnung Lustenau/Rhein für den Monat August 2006 67
Abbildung 58: Vergleich der Referenzproben, Messstelle Lustenau/Rhein 68
Abbildung 59: Durchfluss- und Trübungsganglinie vom 10. bis 20. August der Messstelle Gisingen/Ill mit entnommenen Referenzproben 70

Abbildung 60: Zusammenhang der Sondenwerte mit den Werten der Referenzproben (Messstelle Gisingen/Ill) 71
Abbildung 61: Zusammenhang der Sondenwerte mit den Werten der Referenzproben (<150 mg/l), Messstelle Gisingen/Ill 72
Abbildung 62: Filter und Dichtungsring mit feinem Sediment und Anteilen an gröberem Sediment nach Druckfiltration 72
Abbildung 63: Durchflussganglinie und Sondenaufzeichnung mit entnommenen Referenzproben und korrigierter Schwebstoffganglinie Gisingen/Ill für den Zeitraum 10. bis 20. August 2006 79
Abbildung 64: Ganglinien des Durchfluss, des mittlere Schwebstoffgehaltes C_m und des Schwebstoffgehaltes nach Exponentialfunktion für den Zeitraum August 2006, Gisingen/Ill 80
Abbildung 65: Ganglinien des Durchfluss sowie der Frachtberechnung mittels K_Q-Faktor und anhand der Exponentialfunktion in Gisingen/Ill 81
Abbildung 66: Ganglinien des Durchfluss, der adaptierten sowie kalibrierten Sondenaufzeichnung und die entnommenen Referenzproben an der Messstelle Lustenau/Rhein 82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rechnerische Auswertung der Vielpunktentnahme vom 28.08.2006, Gisingen/Ill 25
Tabelle 2: Auswertung der Integrationsentnahme vom 28.08.2006, Gisingen/Ill 27
Tabelle 3: Messprogramm August 2006 der Messstelle Gisingen/Ill 30
Tabelle 4: Messprogramm im August und September 2006 an der Messstelle Lustenau/Rhein 30
Tabelle 5: Mittlere Schwebstoffgehalte der Vielpunktentnahmen C_m VP, Schwebstoffgehalte der zugehörigen Referenzproben C_r und K_Q-Faktoren mit den jeweiligen Abflüssen Q, Gisingen/Ill 52
Tabelle 6: Schwebstofffrachten im Sommer 2006 Gisingen/Ill 53
Tabelle 7: Mittlere Schwebstoffkonzentrationen C_m, zugehörige mittlere Referenzproben- und Abflusswerte der Vielpunkt- und Integrationsentnahmen sowie bestimmte Querprofilbeiwerte K_Q der vier Messungen, Messstelle Lustenau/Rhein 65
Tabelle 8: Schwebstofffrachten im Sommer 2006 in Lustenau/Rhein 67
Tabelle 9: Vergleich der mittleren Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil mit den mittleren Referenzprobengehalten, Trübungswerten, K_Q- Faktoren und dem Durchfluss der Vielpunktentnahmen, Gisingen/Ill 73
Tabelle 10: Schwebstofftriebe der einzelnen Lotrechten und zugehörige Durchflüsse, Gisingen/Ill 74
Tabelle 11: Vergleich der mittleren Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil mit den mittleren Referenzprobengehalten, Trübungswerten, K_Q- Faktoren und dem Durchfluss Q der Integrationsentnahmen, Gisingen/Ill 75
Tabelle 12: Schwebstofftriebe der einzelnen Lotrechten an den Messtagen und zugehörige Durchflüsse, Gisingen/Ill 76
Tabelle 13: Vergleich Vielpunkt- und Integrationenentnahmen hinsichtlich, mittlerem Referenzprobengehalt (C_r) und mittlerem Schwebstoffgehalt im Querprofil (C_m), Gisingen/Ill 76
Tabelle 14: Vergleich der Messdaten aus den Jahren 2006 und 2003 (Sillaber) 77
Tabelle 15: Querprofilbeiwerte K_1, im Vergleich die Vielpunkt- Integrationsentnahmen, Gisingen/Ill 78
Tabelle 16: Mittlere Schwebstoffkonzentrationen C_m im Querprofil, mittlere Referenzprobengehalte C_r, Trübungswerte T_r, Querprofilbeiwerte K_Q, sowie Durchfluss Q der Vielpunkt- und Integrationsentnahmen, Lustenau/Rhein 83
Tabelle 17: Schwebstofftrieb im Querprofil der Messungen an der Pegelmessstelle Lustenau/Rhein 84

1 Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

1.1 Einleitung und Problemstellung

Das im Einzugsgebiet abgetragene Feststoffmaterial wird von den Flüssen als Geschiebe, d.h. auf der Sohle rollend, gleitend oder springend, oder als Schwebstoff (in Suspension) verfrachtet (FÜRST, 2006). Je nach Strömungsbedingungen und Feststoffzufuhr kann Material im Flussbett abgelagert oder erodiert werden. Die Geometrie und das Längsgefälle des Gerinnes, sowie die Beschaffenheit der Ufer und des Sohlenmaterials, bestimmen für einen gegebenen Abfluss den Wasserspiegelverlauf und damit die Abflusskapazität. Gerinnegeometrie und momentaner Abflusszustand definieren das entsprechende Feststoff-Transportvermögen des Flusses, d.h. je nach Feststoff-Transportkapazität herrscht Ablagerung, Gleichgewicht oder Erosion vor (SPREAFICO ET AL., 2005).

Die Erfassung von Schwebstoffführung und Schwebstofffrachten ist wichtig, da sich bei Stauhaltungen und Hochwasserrückhaltebecken infolge der Sedimentation zahlreiche Probleme für die Gewässernutzung und – unterhaltung ergeben (DVWK, 1999). Die Verlandung von Flussstauräumen kann bei Hochwasserabflüssen im Oberwasser der Staubauwerke zu einem unzulässig hohen Wasserspiegel führen, so dass die Sicherheit von Hochwasserschutzdeichen nicht mehr gewährleistet ist. In Talsperren kommt es infolge von Sedimentation zur Verlegung von Grundablässen, wodurch die Betriebssicherheit der Staubauwerke beeinträchtigt wird. In Wasserstraßen können Sedimentablagerungen die Schifffahrt behindern. Bei Stauräumen, in denen zur Deckung des Spitzenstroms Schwellbetrieb gefahren wird, geht durch die Sedimentation Arbeitsspeicher verloren, was Einbußen bei der Energieproduktion zur Folge hat (DVWK, 1999). Da die Schwebstoffe mengenmäßig stärker ins Gewicht fallen als das Geschiebe, sind sie auch als Maß für den Gebietsabtrag im Einzugsgebiet von Bedeutung. Der Gewässerschutz seinerseits interessiert sich für die Schwebstofffrachten, weil diese feinkörnigen Feststoffe kollodiale oder gelöste Inhaltsstoffe absorbieren können, und weil sie für die Kolmatierung von Gewässerstrecken verantwortlich sind (SPREAFICO, 2005).

Verschiedene gesetzliche Grundlagen schreiben den Hydrografischen Diensten der Bundesländer vor, Schwebstoffdaten zu erheben. Einerseits besagt die Wasserrechtsgesetznovelle 2003, § 59c, dass sich die Erhebung des

Wasserkreislaufes auf das Oberflächengewässer, das Grundwasser und die Quellen, den Niederschlag, die Verdunstung und die Feststoffe in den Gewässern, hinsichtlich Verteilung nach Menge und Dauer [...] zu beziehen hat. Andererseits schreibt die WGEV 1991, §7 und §8 vor, dass die Beobachtung der Wassergüte in Fließgewässern die physikalischen [...] Parameter Trübung (sensorisch) und abfiltrierbare Stoffe (Probe mit 45 µ Membranfilter filtriert) zu umfassen hat.

Somit hat sich die Arbeitsgruppe „Schwebstoffmessung im Hydrografischen Dienst", die sich aus der Abteilung Wasserhaushalt des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, der Hydrografischen Dienste der Bundesländer und der Energiewirtschaft zusammensetzt, den Aufbau eines Schwebstoffbasisnetzes und die Erstellung eines Leitfadens zur Schwebstoffmessung zum Ziel gesetzt. An ausgewählten Gewässerabschnitten, vor allem in Mündungsbereichen wichtiger Zubringer und Grenzquerschnitten, soll die Schwebstoffkonzentration kontinuierlich gemessen werden und daraus der Schwebstofftransport und die Schwebstofffrachten ermittelt werden (SILLABER, 2004). Dies soll mittels kontinuierlicher Aufzeichnung der Trübung und zusätzlicher Entnahme von Schwebstoffproben als Kontrollwerte erreicht werden („Arbeitsgruppe Schwebstoffmessung", 2001). Es besteht das Problem der Umrechnung der aufgezeichneten Trübungswerte in tatsächliche Schwebstoffgehalte, da die aufgezeichneten Daten einerseits reine Trübungsdaten darstellen und andererseits nur in Sondennähe gültig sind. Weiters stellt sich die Frage nach der Repräsentativität des Kontrollmesspunktes für die räumliche Verteilung der Schwebstoffkonzentration im gesamten Fließquerschnitt des Flusses (STIMPFL, 2006).

Das Land Vorarlberg begann bereits im Sommer 2003, im Rahmen der Diplomarbeit von Sillaber „Optimierung der Schwebstoffmessungen an der Ill in Vorarlberg", mit einem Beitrag zur bundesweiten Aufgabe der Erstellung eines Schwebstoffbasismessnetzes.

1.2 Zielsetzung

Bereits im Juni 2003 wurden parallel zur Arbeit von Sillaber zwei weitere Diplomarbeiten zu selbigem Thema „Optimierung der Schwebstoffmessungen" in den Bundesländern Niederösterreich und Oberösterreich durchgeführt. Im Sommer 2005 folgten fünf weitere Diplomarbeiten in den Bundesländern Tirol (an der hiesigen Fachhochschule), Kärnten, Salzburg, Oberösterreich und der Steiermark und im Sommer 2006 weitere fünf in den Bundesländern Burgenland, Steiermark, Tirol (zwei

Arbeiten an der hiesigen Fachhochschule) und Vorarlberg. In Vorarlberg sind zum jetzigen Zeitpunkt die Messstellen Gisingen/Ill, Lustenau/Rhein und Kennelbach/Bregenzerach mit Trübungssonden ausgestattet.

Die Ergebnisse und Erfahrungen dieser Diplomarbeit sollen einerseits - wie bereits erwähnt - der Erstellung eines Leitfadens zur Schwebstoffmessung dienlich sein und andererseits flussspezifische Problemstellungen im Messbetrieb aufzeigen und eventuelle Lösungsansätze bieten.

Folgende Ziele sollten durch die vorliegende Diplomarbeit erreicht werden:

- Datengewinnung für die Optimierung der Probenentnahme für den Routinebetrieb
- Flussspezifische Methodenüberprüfung zur Umsetzung von Trübungswerten in Schwebstoffkonzentrationen
- Überprüfung der Repräsentativität des Kontrollmesspunktes für die räumliche Verteilung im Flussquerschnitt
- Hilfestellung für den Aufbau eines Basismessnetzes
- Berechnung eines Zusammenhanges zwischen den mittleren Schwebstoffkonzentrationen im Messquerschnitt und den Referenzprobenkonzentrationen (Querprofilbeiwert)
- Ermittlung der Schwebstofftransportraten
- Darstellung von korrigierten Trübungsganglinien

2 Beschreibung der Einzugsgebiete

Im folgenden Kapitel „Beschreibung der Einzugsgebiete" soll ein Überblick über die Einzugsgebiete der Ill und des Rheins in geographischer, klimatischer und hydrologischer Sicht gegeben werden.

2.1 Die Ill

2.1.1 Kurzbeschreibung

Das Flussgebiet der Ill durchfließt die Talschaften Montafon und Walgau im südlichen Teil Vorarlbergs und entspringt dem Ochsentaler Gletscher im Silvrettagebiet auf einer Seehöhe von rund 2500 m - Abbildung 1. Die Ill kann, beginnend bei ihrem Ursprung, in die Abschnitte Monatfon von der Quelle bis Bludenz, den Abschnitt Walgau von Bludenz bis zur Felsenau-Schlucht in Feldkirch und dem Abschnitt untere Ill, bis zur Illmündung am Illspitz in den Rhein unterteilt werden. Mit ihren Hauptzuflüssen Lutz und Alfenz umfasst das Einzugsgebiet der Ill 1.281,4 km² (SILLABER, 2004).

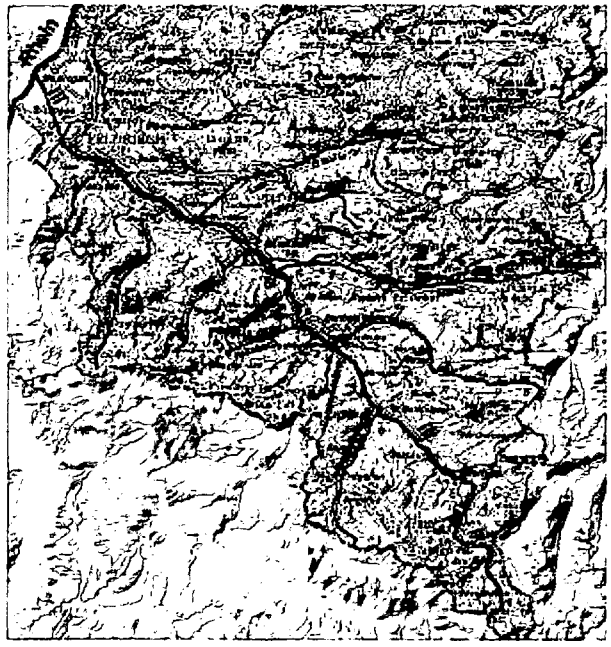


Abbildung 1: Geografische Lage des Einzugsgebietes Ill
(Quelle: Landeswasserbauamt Bregenz)

Der Oberlauf der Ill, Abschnitt Monatfon, ist durch zahlreiche Wasserentnahmen gestört, sodass im Raum Bludenz nur mehr Restwasser fließt. Ab der Einmündung des Unterwasserkanales des Lutzkraftwerkes wird das verbliebene Restwasser der Ill mit

Schwällen beaufschlagt, die im weiteren Verlauf durch die Wasserrückgabe des Walgaukraftwerks im Raum Beschling verstärkt werden - Abbildung 2. Im Abschnitt Walgau durchfließt die Ill als „enges Band" den Talraum. Die Ill ist fast durchgehend in Dämme gelegt und die Böschungen sind mit grobblockigen Steinlagerungen gesichert (WALSER ET AL, 2001). Die größten Illzuflüsse im Walgau sind die Alvier, Lutz, Samina und Meng.

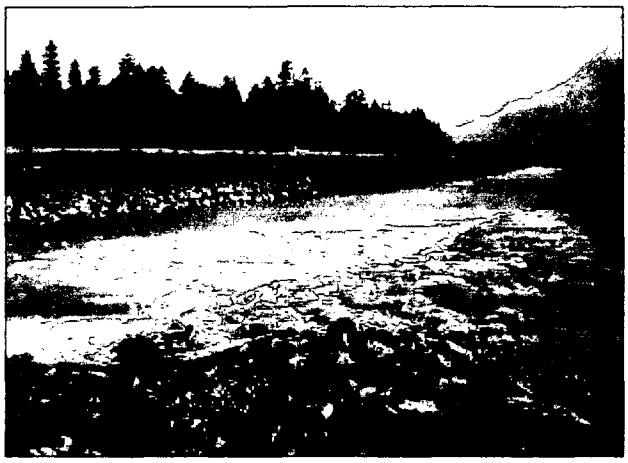


Abbildung 2: Wasserrückgabe beim Walgaukraftwerk

Im Abschnitt „Untere Ill", von Feldkirch bis zur Mündung in den Rhein - Abbildung 3 - wurde eine durchgehend geradlinige Regulierung mit einem Mittelwassergerinne, Vorländer- und Hochwasserdämmen, womit die Hochwassersicherheit gegenüber einem 100-jährlichen Ereignis gewährleistet sein soll, durchgeführt (SCHUTZWASSERBAU IN VORARLBERG, 1992).

Abbildung 3: Verlauf der Ill von Feldkirch/Gisingen bis zur Mündung in den Rhein (li., Quelle: ÖK 50), Blick von Gisingen stromabwärts (re.)

In diesem Abschnitt sind keine nennenswerten Zubringer vorhanden. Die Illmündung beim Illspitz in den Alpenrhein wurde zur Verbesserung des Hochwasserschutzes und

zum Schutz des schweizerischen Ufers neu gestaltet. Abbildung 4 zeigt die neue Mündung der Ill in den Rhein.

Abbildung 4: Neue Mündung der Ill in den Rhein am Illspitz mit Umgehungsgerinne

2.1.2 Geologie

Vorarlberg liegt am Nordrand der Alpen und ist gekennzeichnet durch eine hohe naturräumliche Vielfalt auf engem Raum. Besonders die abwechslungsreichen geologischen Verhältnisse prägen die Landschafts- und Fließgewässertypen, die durch die Gletscher der letzten Eiszeit stark morphologisch geprägt wurden. Die Gesteine werden von Süden nach Norden immer jünger. Vom Kristallin, der südlichsten geologischen Einheit, abgetragene Gesteine liegen über denen der Flyschzone. Darunter befinden sich Reste der helvetischen Zone, welche wiederum auf der Molassezone liegen (WALSER ET AL, 2001).

Aus der geologischen Übersichtskarte - Abbildung 5 - sind die kleinräumigen geologischen Zonierungen erkennbar.

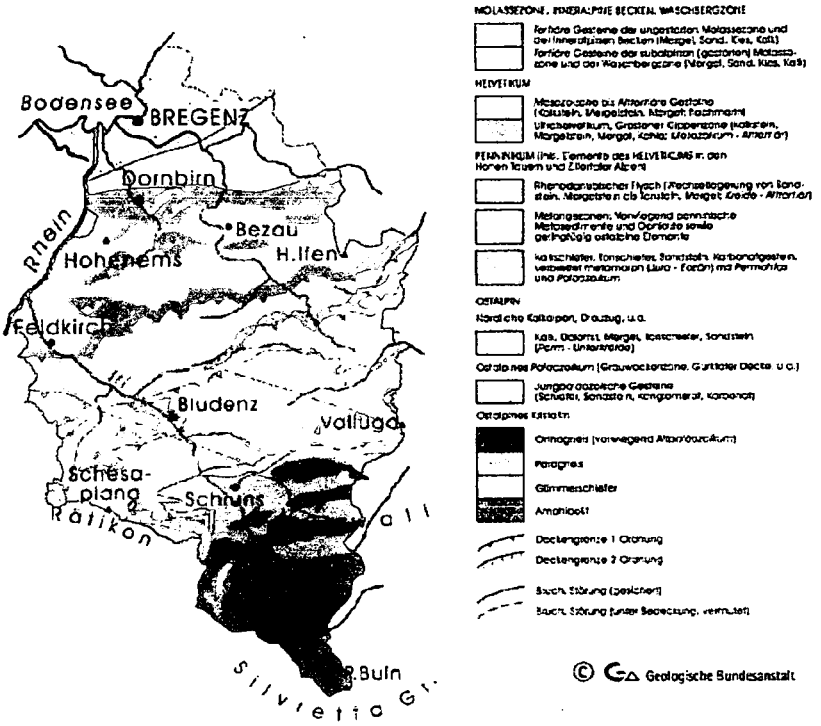


Abbildung 5: Geologische Übersichtskarte von Vorarlberg
(Quelle: Geologische Bundesanstalt)

Das Untersuchungsgebiet, Einzugsgebiet Ill, hat südlich von Feldkirch einen geringen Anteil an den Gesteinsschichten des Helvetikums. Es stellt den Beginn der geologischen Alpen dar. Hauptbestandteil der helvetischen Gesteine sind Kalke, die den Sedimentgesteinen zugeordnet sind.

Dem Helvetikum schließt sich im Süden die Flyschzone, Bestandteil des Penninikums an. Flysch ist ein aus Sandstein und Mergel aufgebautes, zum Rutschen neigendes Gestein, das leicht verwittert. Es breitet sich quer über den Walgau bis ins große Walsertal aus.

Der Flyschzone folgt Richtung Süden die kalkalpine Zone. Die Kalkalpen bestehen aus Kalken und Dolomiten. Zum Gebiet der Kalkalpen gehören der Rätikon und Teile des großen Walsertales, des Klostertales und das Lechgebiet (SILLABER, 2004).

Die Berggebiete im Süden Vorarlbergs werden dem Ostalpinen Kristallin zugeordnet. Das Gebiet ist aus silikatischen Gesteinen, wie Gneisen, Schiefern und Amphibolithen aufgebaut. Zu dieser Zone zählen das Verwall, die Silvretta und der Osträtikon (BROGGI & GRABHER, 1991).

Die vorherrschenden Böden im kristallinen Gebiet der Silvretta sind Podsole und Böden der Klasse der Braunerden. Podsole sind stark saure Böden mit hoher Wasserdurchlässigkeit. Die Böden der Braunerde sind je nach Ausgangssubstrat unterschiedlich durchlässig. In der kalkalpinen Zone ist überwiegend der Bodentyp

Rendzina vorhanden. Es handelt sich dabei um skelettreiche, seichtgründige und wasserdurchlässige Humusböden auf Carbonatgestein. Die Flyschzone und das Helvetikum sind mit Rendzinen, Pararendzinen, Podsolen, Staupodsolen und Braunerden bedeckt. Der Talboden der Ill wird von Auböden gebildet (RAMPAZZO ET AL, 2003).

2.1.3 Klima

Der Grundcharakter des Vorarlberger Klimas ist typisch mitteleuropäisch, das ganze Jahr über gekennzeichnet durch zyklonale Regenfälle, mit einem Winterminimum und einem Sommermaximum. Die Winter sind kalt und bedingen eine Vegetationsruhe (BROGGI & GRABHER, 1991).

Die regionale Klimavariation im Einzugsgebiet der Ill ist durch die veränderlichen Höhenlagen bedingt. Die mittlere Jahrestemperatur liegt in den Talräumen zwischen 8,8°C (Walgau 450 m Seehöhe) und 5,6 °C (Lech 1250 m Seehöhe) und beträgt am Oberlauf der Ill, in den Gipfelregionen des Montafons auf 2440 m nur noch -2,3°C. In diesen Höhen prägen neben nivalen vor allem auch glaziale Einflüsse das Abflussregime der Gewässer (WALSER ET AL, 2001).

2.1.4 Hydrologie

Das Abflussverhalten der Ill ist durch tagesrhytmische Abflussschwankungen, aufgrund der im Oberlauf befindlichen Speicherkraftwerke gekennzeichnet. Die hohe Wasserführung während des Turbinenbetriebes wird als Schwall, die niedrige Wasserführung während der übrigen Zeit als Sunk bezeichnet (IRKA, 2002). Der mittlere Abfluss MQ (Reihe: 1971 – 2000) der Ill, an der Pegelmessstelle Gisingen beträgt 66,2 m^3/s, das 100-jährliche Hochwasser HQ_{100} 700 m^3/s (Auskunft Hydrographischer Dienst Vorarlberg, August 2006). Die mittleren monatlichen Abflüsse der Ill, an der Pegelmessstelle Gisingen sind in Abbildung 6 dargestellt.

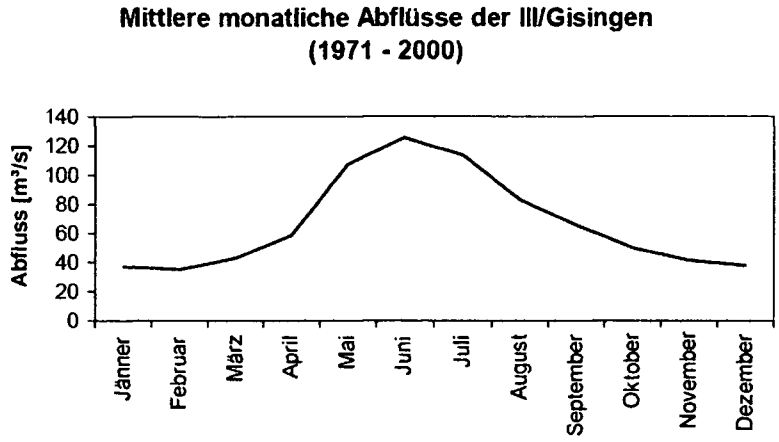


Abbildung 6: Mittlere monatliche Abflüsse der Ill/Gisingen
(Quelle: Hydrographisches Jahrbuch von Österreich, 2002)

2.1.5 Messstelle Gisingen/Ill

Die Schwebstoffmessstelle Gisingen/Ill liegt direkt beim Pegel des Hydrografischen Dienstes - Abbildung 7. Der Pegel Gisingen/Ill ist mit einer Messseilbahn, einem Datensammler zur Wasserstands- und Wassertemperaturmessung, einer Trübungssonde Solitax-ts-line (vgl. Kapitel 3.2.1.1) und einem Entnahmegerät für Uferproben ausgestattet.

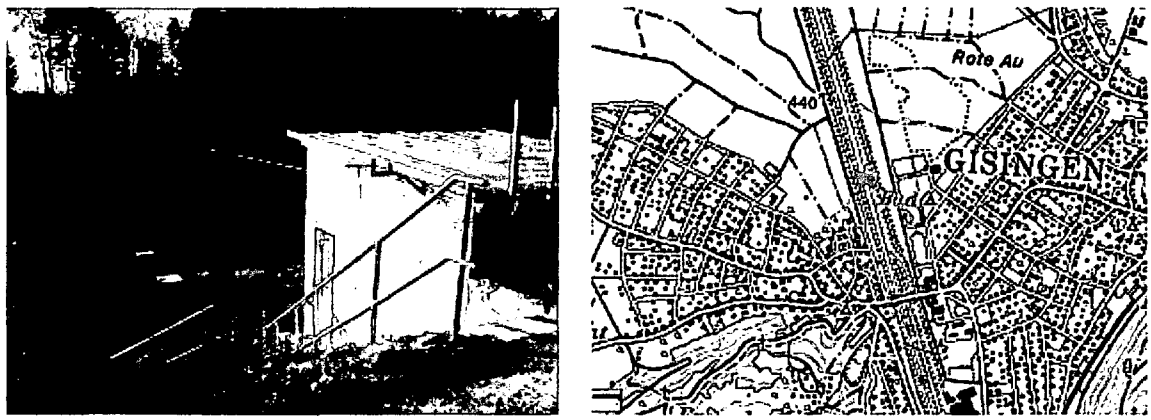


Abbildung 7: Pegelhaus bei der Messstelle Gisingen/Ill (li.) und Lage der Messstelle, roter Stern (re., Kartengrundlage: ÖK 50, BEV)

Sondennahe Referenzproben können mittels Schöpfgerät von der Pegelstiege aus genommen werden - Abbildung 8.

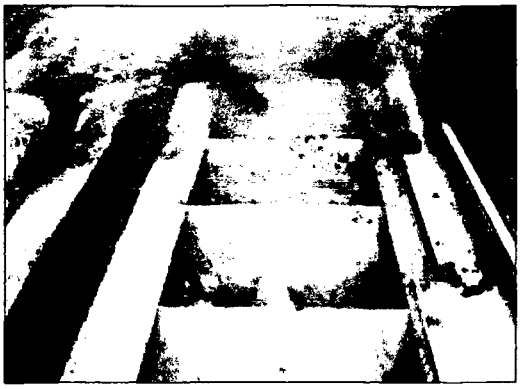


Abbildung 8: Pegelstiege mit rechtsseitigem Trübungssondenschutzrohr

Die vorhandene Messeilbahn lässt sich über einen Joystick bedienen und ermöglicht die Durchführung von verteilten Schwebstoffentnahmen über das Querprofil, sowie die Geschwindigkeitsmessung mittels Messflügel.

2.2 Der Rhein

2.2.1 Kurzbeschreibung

Der Alpenrhein - Abbildung 9 - entwässert bis zu seiner Mündung in den Bodensee ein Gebiet von 6123 km³ und weist den Charakter eines Gebirgsflusses mit Gletschereinfluss auf. Da aber nur 1,4% (SPREAFICO, 1992) des Einzugsgebietes eine Vergletscherung aufweisen, ist der Alpenrhein nach den Ablußregimetypen nach PARDÉ (1947) eher als Gebirgsfluss mit Schneeregime des Berglandes (nivales Regime) zu bezeichnen. Dies führt zu einem ausgeprägten Abflussmaximum im Juni und einem Abflussminimum im Winter (MORD, 1996). Das Einzugsgebiet wird in der Publikation <Wasserverhältnisse in der Schweiz> (1896) aus hydrologischer Sicht in vier Teilgebiete unterteilt. Ein südwestliches Gebiet von 1514 km² mit dem Vorderrhein als Hauptgewässer, ein südöstliches Gebiet von 1693 km² mit dem Hinterrhein als Hauptvorfluter, ein Zwischengebiet von Reichenau bis Bad Ragaz mit 1248 km², welches von den Flüssen Landquart, Plessur und Tamina geprägt ist und ein nördliches Gebiet von 1668 km² mit der Ill als bestimmendes Gewässer. Der Piz Kesch ist mit 3418 m der höchste Punkt des Alpenrheins. Die mittlere Höhe des Gesamtgebietes liegt bei 1800 m ü. M. (SPREAFICO, 1992).

Abbildung 9: Flugaufnahme des Alpenrheintales bei der Mündung in den Bodensee (Quelle: Franz Thorbecke, Lindau 2002)

Für den Bodensee gilt der Alpenrhein als wichtigster Wasserlieferant. Mit einem mittleren Abfluss von 240 m^3/s führt er mehr als die Hälfte der jährlichen Wassermenge (ca. 7,3 Milliarden m^3) zu. Trotz seiner fast durchgehenden Begradigung und Kanalisierung gilt er als größter Wildbach Europas. Lediglich in der Schweiz in Graubünden ist noch ein Abschnitt mit natürlich gewunden-verzweigtem Flusslauf erhalten geblieben.

Der Alpenrhein ist gekennzeichnet durch erhebliche jahreszeitliche und nutzungsbedingte Wasserspiegelschwankungen und einen hohen Feststofftransport. Es gelangen jährlich 2-3 Mio. m^3 Fest- und Schwebstoffe in den Bodensee (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, ABTEILUNG WASSERWIRTSCHAFT, 2005).

2.2.2 Geologie

Das Rheintal befindet sich im Bereich einer tektonischen Störung, deren Entstehung in die alpine Gebirgsbildung zurück reicht. Das Trogtal wurde durch Erosionswirkung des

Rheingletschers ausgeschürft und nach dem Zurückweichen der Eismassen durch Sedimente aufgefüllt. Im Bereich des Talbodens liegen die tiefsten Felsaufschlüsse auf einer Höhe von ca. 50 bis 200 m über, bzw. unter dem Meeresniveau. Die Auffüllung an der Basis besteht aus bis zu mehreren 100 m mächtigen Ablagerungen aus Tonen, Schluffen und Feinsanden. An der Oberfläche nimmt der Anteil alluvialer Kiese und Sande im Bereich des Rheins zu, wobei die Mächtigkeit und seitliche Ausdehnung dieser Ablagerungen zum Bodensee hin abnimmt. Die Schwemmkegel der großen Nebengewässer strahlen in variabler Zusammensetzung in das Rheintal aus (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, ABTEILUNG WASSERWIRTSCHAFT, 2005).

2.2.3 Klima

Das Einzugsgebiet des Alpenrheins liegt in der warmgemäßigten feuchten Klimazone, im Einflussbereich von atlantischem und kontinentalem Klima. Daneben ist der Raum vom Alpenföhn betroffen, der das Rheintal wie einen Kanal durchströmt. Die Jahresmitteltemperatur beträgt 8–9°C, das Januarmittel liegt um -1°C, das Julimittel bei +18°C. Klima und Niederschläge liegen zwischen 800 und 3000 mm/Jahr und nehmen infolge des Staueffektes der Alpen von West nach Ost zu: Extreme Niederschlagsereignisse können südalpin oder nordalpin zentriert sein, was - verbunden mit den jahreszeitlichen Schwankungen und durch die Schneeschmelze - einen erheblichen Einfluss auf die Hochwassersituation hat (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, ABTEILUNG WASSERWIRTSCHAFT, 2005).

2.2.4 Hydrologie

Das Ablussregime der Vorarlberger Rheinstrecke - der Rhein bildet auf einer Länge von 23,5 km (Buhmann et al., 1998) die Grenze zwischen Österreich und der Schweiz - ist durch tägliche Wasserspiegelschwankungen bis zu einem Meter (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, ABTEILUNG WASSERWIRTSCHAFT, 2005)
infolge der Wasserkraftnutzung im Einzugsgebiet maßgeblich beeinträchtigt. Im Winter kann der Abfluss NQT bis auf ca. 40 m³/s sinken und der Niederwasserabfluss kann im Mittel MJNQT mit ca. 70 m³/s angegeben werden. Der mittlere Abfluss MQT (Reihe 1991 – 2000) an der Pegelmessstelle Lustenau/Rhein beträgt 232 m³/s. Das 100-jährliche Hochwasser HQ100 wurde vom Hydrographischen Dienst Vorarlberg mit 3100 m³/s berechnet. Abbildung 10 zeigt den mittleren MQ und die extremen Monatsmittel HMQ/NMQ der Abflüsse bzw. Abflussspenden in Lustenau/Rhein.

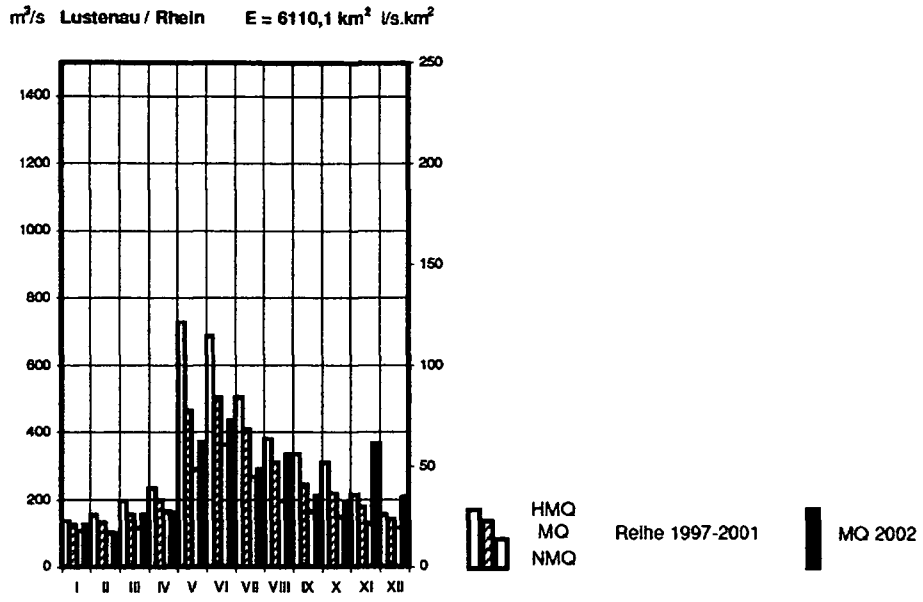


Abbildung 10: Mittlere MQ und extreme Monatsmittel HMQ/NMQ der Abflüsse bzw. Abflussspenden in Lustenau/Rhein
(Hydrographisches Jahrbuch von Österreich, 2002)

2.2.5 Messstelle Lustenau/Rhein

Die Schwebstoffmessstelle für Vielpunkt- und Integrationsentnahmen befindet sich 550 m stromab des Pegelhauses. Schwebstoffentnahmen und Flügelmessungen werden von der Brücke mittels Messwagen getätigt. Das Pegelhaus befindet sich auf der alten Eisenbahnbrücke und ist mit einem Datensammler zur Wasserstands- und Wassertemperaturmessung, einem Entnahmegerät für Uferproben und seit dem 16. Juli 2006 einer Solitax-ts-line Sonde (vgl. Kapitel 3.2.1.1) ausgestattet. Abbildung 11 zeigt die Lage des Pegelhauses (grüner Punkt) und der Schwebstoffmessstelle (roter Stern).

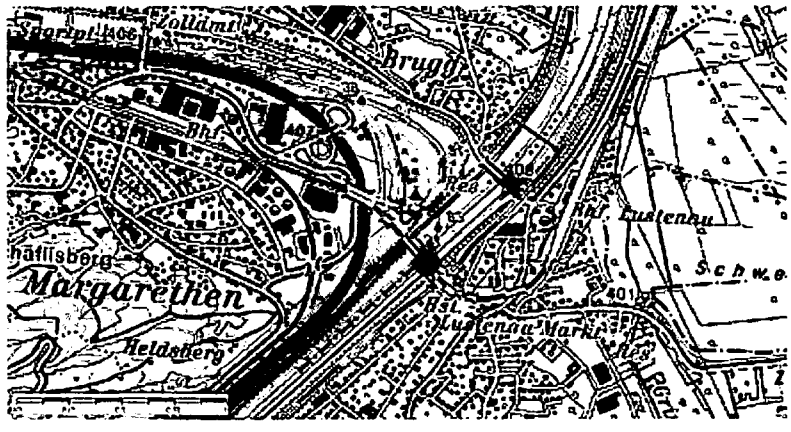


Abbildung 11: Lage des Pegelhauses mit Trübungssonde (grün), Schwebstoffmessstelle (rot)
(Quelle: ÖK 50)

In Abbildung 12 sind das Pegelhaus der alten Eisenbahnbrücke Lustenau, der Rhein mit Blick stromab und die Trübungssonde im Schutzrohr bei der alten Eisenbahnbrücke Lustenau ersichtlich.

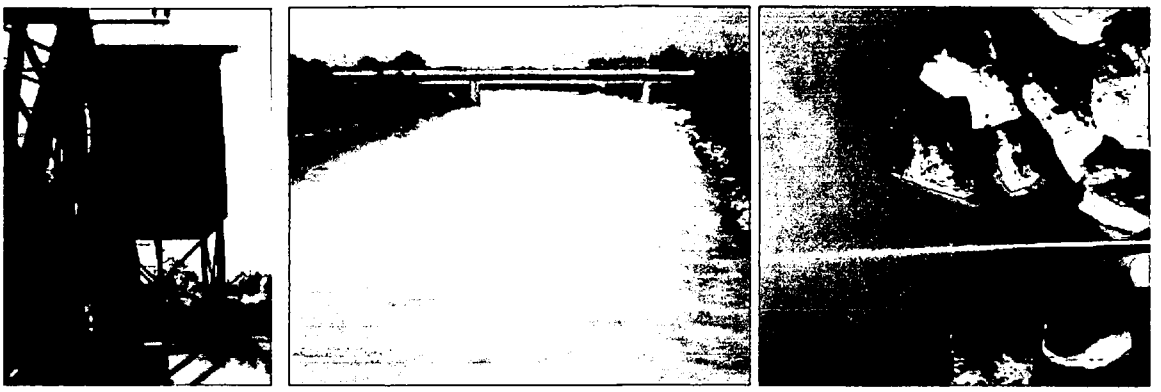


Abbildung 12: das Pegelhaus auf der alten Eisenbahnbrücke Lustenau (li.), der Rhein, Blick stromabwärts vom Pegelhaus zur Schwebstoffentnahmebrücke (mi.) und die Trübungssonde im Schutzrohr bei der alten Eisenbahnbrücke Lustenau (re.)

3 Methodik

Im folgenden Kapitel „Methodik" werden die im Rahmen der Diplomarbeit zur Datengewinnung verwendeten Entnahme-, Mess- und Auswertemethoden vorgestellt.

3.1 Direkte Schwebstoffentnahmemethoden

Aus dem Gewässerquerschnitt werden an einem oder mehreren Punkten Wasserproben entnommen. Zur Bestimmung des Feststoffgehaltes werden die Proben filtriert und einer gravimetrischen Auswertung unterzogen. Ziel der Probenentnahme ist die Bestimmung des Schwebstoffgehaltes eines bestimmten Wasservolumens. Die richtige Entnahme der Wasserproben und die anschließende Behandlung und Auswertung, bilden die Voraussetzung für die einwandfreie Bestimmung des Schwebstoffgehaltes des Gewässers (DVWK, 1986).

3.1.1 Einpunktentnahme (Referenzprobennahme)

Die Entnahme von zwei Referenzproben je Messstellenbesuch ist die vom Hydrografischen Dienst Vorarlberg üblicherweise angewandte Methoden zur direkten Schwebstoffmessung.

Die Entnahme der Wasserproben kann gemäß DVWK (1986) von Brücken, Messstegen, Seilkrananlagen oder vom Boot aus oberflächennah und möglichst im Stromstrich erfolgen. Die Entnahme von Brücken mit Laborflaschen erweist sich als günstig, da die gefüllten Laborflaschen zur Auswertung direkt ins Labor transportiert werden können und bietet den Vorteil, dass die Entnahme auch während eines Hochwassers erfolgen kann. Bei schnell fließenden Gewässern hat es sich bei der Entnahme von Brücken bewährt, die Probenentnahmegeräte oberhalb des Wasserspiegels solange in Fließrichtung zu schwingen, bis die „Schwinggeschwindigkeit" ungefähr der Fließgeschwindigkeit entspricht. Anschließend wird die Probeflasche am flussaufwärts gelegenen Wendepunkt ins Wasser gelassen. Sie driftet mit der fließenden Welle ab, füllt sich und wird herausgezogen. Wird die Probe vom Ufer aus genommen erfolgt dies durch Absenken einer 1000 ml Weithalsflasche die an einer Stange von mehreren Metern Länge befestigt ist. Nach Möglichkeit sollte der Absenkvorgang in der Nähe der Sonde, im Bereich der Sondenoptik erfolgen. Nach erreichen der gewünschten Tiefe wird die Flasche gewendet, die Flaschenöffnung zeigt nun nach oben und das Wasser strömt ein.

Sobald keine Luftblasen mehr auf der Wasseroberfläche zu sehen sind, ist die Probe rasch aus dem Gewässer zu ziehen (KERSCHBAUMSTEINER, 2006).

Im Rahmen der Diplomarbeit wurden Referenzproben - Abbildung 13 - vom Ufer, bei der Messstelle Gisingen/Ill und von der Brücke, bei der Messstelle Lustenau/ Rhein mit Laborflaschen und Eimern entnommen.

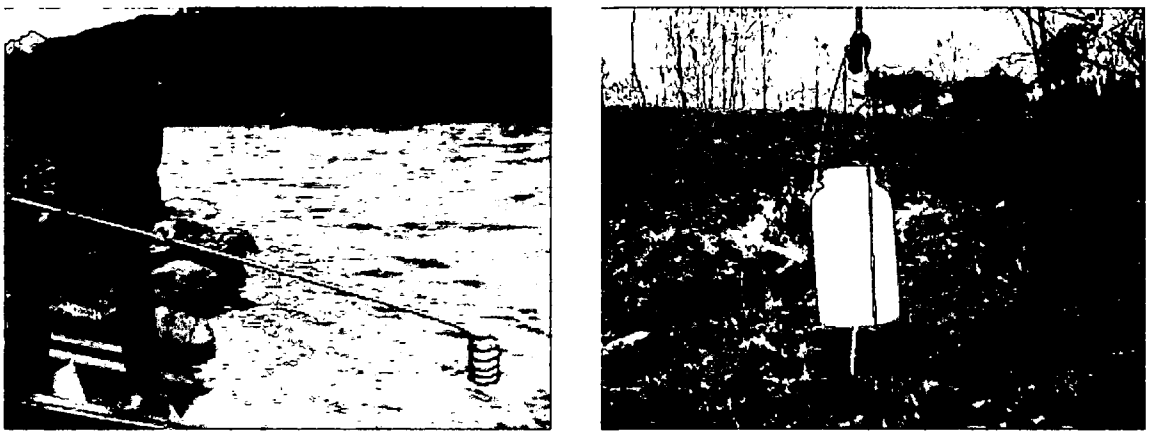


Abbildung 13: Schöpfgeräte: Schwebstoffentnahme am Illufer (li.), Entnahmegerät zur Probenschöpfung von der Brücke (re.)

3.1.2 Vielpunktentnahmen

Die Vielpunktentnahmen sollen zeigen, inwieweit Schwebstoffgehalt und Fließgeschwindigkeit über den Abflussquerschnitt gleichförmig verteilt sind und ob der Wert der Einpunktentnahme mit einem Umrechnungs- bzw. Korrekturfaktor (K_Q) versehen werden muss. Die Vielpunktentnahme mit gleichzeitigen Messungen der Fließgeschwindigkeiten am gleichen Messpunkt ist die genaueste Methode zur Ermittlung des Schwebstofftransportes.

Zur Durchführung der Vielpunktentnahmen wird der Abflussquerschnitt in mehrere Messlotrechte unterteilt. Der Abstand der Messlotrechten richtet sich im Allgemeinen nach der Breite des Gewässers und kann bis zu 30 m betragen (DVWK, 1986). Die Anzahl der Entnahmepunkte richtet sich im Allgemeinen nach der Tiefe des Gewässers. Für erste Untersuchungen empfiehlt es sich, die Entnahmepunkte nach der 5-Punkt-Methode (0,05*h, 0,2*h, 0,6*h, 0,8*h, 0,95*h) festzulegen, wobei dies vom Wasserspiegel aus erfolgt und [h] die Wassertiefe in der Lotrechten ist. Weitere Methoden sind die 4-Punkt-Methode (0,2*h, 0,6*h, 0,8*h, 0,95*h), die 3-Punkt-Methode (0,2*h, 0,6*h, 0,8*h), die 2-Punkt-Methode (0,2*h, 0,8*h) und die Punkt-Methode (0,6*h) (KERSCHBAUMSTEINER, 2006).

Die Anzahl der Messlotrechten soll laut ISO 4363 (2001) bei Flüssen mit einer Breite über 300 m mindestens sieben betragen, bei einer geringeren Breite mindestens fünf. Die Genauigkeit der Messung erhöht sich durch die Erhöhung der Anzahl der Messpunkte in der Vertikalen. Zur Bestimmung der mittleren Konzentration in einer Lotrechten werden fünf bis zehn Proben je Lotrechte benötigt (EDWARDS UND GLYSSON, 1999).

Um eine Vergleichbarkeit der Vielpunktentnahmen mehrerer Messtage zu erhalten, hat sich im Rahmen der Diplomarbeit die Entnahme in immer den gleichen Lotrechten als sinnvoll erwiesen. Am Ufer wird ein Bezugspunkt festgelegt, zum Beispiel dem Pegelhaus, und die erste Lotrechte jeweils im gleichen Abstand von dort definiert.

Vor Beginn der Messung sind der Wasserspiegel und die Trübungsanzeige im Messprotokoll aufzuzeichnen. Zeitgleich erfolgt die Einpunktentnahme einer Referenzprobe bei der Trübungssonde, welche ab nun alle 30 min bis zur Beendigung der Vielpunktentnahme wiederholt wird. Die Bestimmung der Wassertiefen in den interessierenden Lotrechten kann anhand der Koordinaten aus der Messflügelsteuerung erfolgen. Bei sämtlichen Tiefenbestimmungen ist die Abdrift (ab >10°) entsprechend zu kompensieren. Beträgt die Wassertiefe weniger als 3,6 m ist beim Einsatz des OTT-100 kg Flügelgewichtes die Entnahmetiefe bei der 4 oder 5-Punkt-Methode entsprechend anzupassen. Ist der unterste Entnahmepunkt (0,95*h) bis 5 cm vom Messpunkt 0,8*h entfernt, kann er entfallen. Die Fließgeschwindigkeiten in den Entnahmepunkten werden mittels Messflügel bestimmt und Schwebstoffproben unter Einsatz eines isokinetischen Probeschöpfers, der für die punktintegrierende Probeentnahme geeignet ist entnommen. Die Probeflaschen sollten nicht überfüllt werden, aber auch nicht weniger als 2/3 der möglichen Probenmenge enthalten (Kerschbaumsteiner, 2006).
Im Rahmen der Diplomarbeit standen ein OTT-Messflügel und ein US P61 A Suspended Sediment Sampler - Abbildung 14 - zur Verfügung.

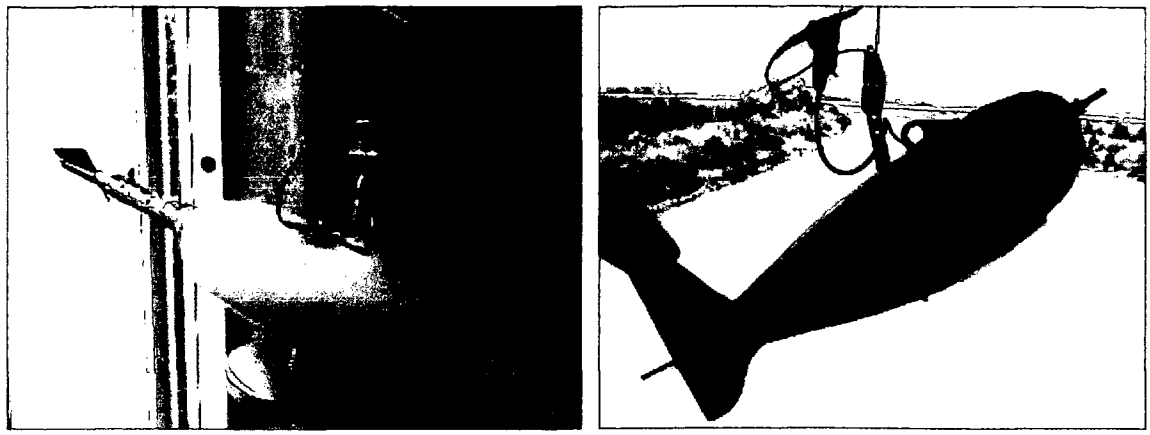


Abbildung 14: links: OTT-Messflügel, rechts: US P61 A Suspended Sediment Sampler

3.1.3 Integrationsentnahme

Bei der Integrationsentnahme wird das Entnahmegerät im Optimalfall mit konstanter Geschwindigkeit vom Wasserspiegel bis zur Sohle und zurück bewegt. Dadurch erhält man den mittleren Schwebstoffgehalt zwischen der Oberfläche und dem Sohlbereich je Messlotrechter. Voraussetzung dafür ist, dass die Einströmung in das Messgerät weitestgehend isokinetisch erfolgt. Isokinetisch bedeutet, dass die Einströmgeschwindigkeit gleich der Fließgeschwindigkeit ist (DVWK, 1986). Der Vorteil der Integrationsentnahme gegenüber der Vielpunktentnahme liegt in der schnelleren Durchführbarkeit einer Messung (SPREAFICO ET AL., 1996).

Im Rahmen der Diplomarbeit wurden die Integrationsentnahmen in die Vielpunktentnahmen integriert. Das bedeutet dass pro Messlotrechter im Anschluss an die Vielpunktentnahme eine Integrationsentnahme durchgeführt wurde. Hierzu wurde der US-P61A "Suspended Sediment Sampler" bis zur Gewässersohle abgesenkt, das Ventil geöffnet, und dann – soweit es die Steuerung der Seilbahnwinde zuließ – das Entnahmegerät mit konstanter Geschwindigkeit bis zur Wasseroberfläche gehoben. Aufgrund der relativ großen Abdrift des Entnahmegerätes und aufgrund der geringen Anfahrtsgeschwindigkeit der Seilbahnwinde ist diese Methode bei Flüssen mit hoher Fließgeschwindigkeit wenig geeignet. In Kapitel 5.1.2.2 wird noch näher darauf eingegangen.

3.1.4 Dauerentnahme

Bei einer Dauerentnahme werden über einen längeren Zeitraum (einige Stunden) in jeweils konstant gleich bleibenden Zeitabständen, Proben an ein und derselben Stelle entnommen. Gleichzeitig wird der Trübungssondenwert je Probenentnahme aufgezeichnet. Ziel ist es einerseits, eine Beziehung zwischen dem Trübungssondenwert und der Schwebstoffkonzentration herzustellen und andererseits, den zeitlichen Verlauf der Schwebstoffkonzentration im Gewässer zu dokumentieren (KERSCHBAUMSTEINER, 2005).

Im Rahmen der Diplomarbeit konnten Dauerentnahmen aufgrund von fehlendem Messpersonal, nur an der Messstelle Gisingen/Ill durchgeführt werden. Die Dauerentnahmen erfolgten jeweils im Zuge der Vielpunkt- und Integrationsentnahmen mit einem Schöpfgerät vom Ufer aus.

3.1.5 Bestimmung des Schwebstoffgehaltes mittels Druckfiltration

Die, gemäß den in den vorigen Kapiteln beschriebenen Methoden, entnommenen Proben, wurden möglichst rasch im Umweltlabor des Landes Vorarlberg auf ihren Schwebstoffgehalt bestimmt. Die Filtration der Proben erfolgte unter Verwendung von "Cellulose - Acetat – Filtern" mit einem definierten Porendurchmesser von 0,45 µm, mittels Druckfiltration.

Nach DIN 38 409 versteht man unter abfiltrierbaren Stoffen „die volumenbezogene Masse der im Wasser enthaltenen ungelösten Stoffe, die unter bestimmten Bedingungen abfiltriert und im Anschluss an ein festgelegtes Trocknungsverfahren ausgewogen werden. Solche ungelösten Stoffe können Sink-, Schweb- und Schwimmstoffe organischer und anorganischer Zusammensetzung sein." Da eine Trennung von Schweb- und Sinkstoffen in der Natur nicht immer möglich ist und bei der Probennahme unberücksichtigt bleibt, wird im Folgenden der Begriff Schwebstoff und abfiltrierbarer Stoff als Synonym verwendet.

Die Durchführung erfolgte in Anlehnung an KERSCHBAUMSTEINER, 2006:

- Die Membranfilter werden in geöffneten Wägegläsern bei 105°C ca. zwei Stunden bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.
- Abkühlung der Membranfilter im geöffneten Wägeglas auf Raumtemperatur während 30 bis 60 Minuten im Exikkator.
- Der Membranfilter wird im verschlossenen Wägeglas auf 1 mg gewogen.
- Der Membranfilter wird in das Filtriergerät gelegt und mit destilliertem Wasser angefeuchtet.
- Ein Teil der Probe wird aus der Probenflasche in den Messzylinder gefüllt und das Volumen notiert.
- Der Inhalt des Messzylinders wird unter Beihilfe eines Trichters in das Filtriergerät gekippt und es kann mit der Filtration begonnen werden - Abbildung 15.
- Der Vorgang wird so lange wiederholt bis das gesamte Probenvolumen filtriert ist.
- Die Probenflasche, Messzylinder und Trichter werden mit destilliertem Wasser gespült. Das Spülwasser wird ebenfalls filtriert.
- Anschließend wird der Membranfilter im selben geöffneten Wägeglas bei 105°C im Trockenschrank getrocknet (Dauer ca. zwei Stunden)

- Danach wird das offene Wägeglas mit dem Membranfilter innerhalb von 30 bis 60 Minuten im verschlossenen Exikkator auf Raumtemperatur abgekühlt.
- Nach Öffnen des Exikkators wird das Wägeglas sofort mit dem Deckel verschlossen und das Gefäß samt Deckel und Inhalt gewogen – Abbildung 16.

Die Gewichtskonstanz gilt nach DIN 38 409 dann als erreicht, wenn das Gewicht der Trockenmasse m_T der abfiltrierten Stoffe, nach einer weiteren halbstündlichen Trocknung von dem vorhergehenden Gewicht um nicht mehr als 2 mg abweicht.

Abbildung 15: links: Überdruckfiltrationsgerät

Abbildung 16: Filter im Wägeglas (nach öffnen des Exikkators)

Die abfiltrierbaren Stoffe ergeben sich nach der Gleichung:

$$\beta_A = \frac{m_T}{V_P} \bullet f \qquad (1)$$

$$m_T = m_b - m_a \qquad (2)$$

Hierin bedeuten:

β_A abfiltrierbare Stoffe [mg/l]
m_T Trockenmasse [g]
m_a Masse des Wägeglases mit Verschluss und Membranfilter [g]
m_b Masse des Wägeglases mit Verschluss, Membranfilter und abfiltrierbarer Trockenmasse [g]
V_P Volumen der filtrierten Wasserprobe [l]
f Faktor: f= 1000 mg/g

Der Filtrationsvorgang kann bei hohen Schwebstoffkonzentrationen relativ lange dauern. Es wird empfohlen die Probeflasche eine Weile stehen zu lassen und zu warten, bis die Schwebstoffe auf den Boden abgesunken sind. Anschließend wird das klare Wasser vorsichtig in den Messzylinder geschüttet und filtriert. Die Filter werden auf diese Weise möglichst lange durchlässig gehalten.

3.2 Indirekte Messmethoden

3.2.1 Optische Messung der Trübung

Als Trübung wird die Verminderung der Sichtweite in einem transparenten Medium durch Streustrahlung und Absorption, die von optisch dichteren Einlagerungen, z.B. Feststoffteilchen verursacht wird, bezeichnet. Verantwortlich für ihren Effekt ist das optische Phänomen der Lichtstreuung (SIGRIST-PHOTOMETER, 2006). Die Messung der Trübung kann einen Anhalt für die Größe des Schwebstoffgehaltes eines Gewässers geben (DVWK 125, 1986). Die Trübungsmessung ist eine einfache ferngesteuerte Messmethode, durch sie kann eine indirekte, kontinuierliche Ermittlung des Schwebstoffgehaltes erfolgen.

Grundsätzlich kann die Trübung durch Messung der Reflexion oder Transmission von sichtbarem oder infrarotem Licht bestimmt werden.

- Bei der Reflexionsmethode (Streulichtmessung) wird die Streuung des ausgesendeten Lichtstrahles (sichtbar oder infrarot) im und an den im Gewässer befindlichen Hindernissen (Schwebstoffteilchen) bestimmt. Die Reflexion des emittierten Lichtes wird gemessen.
- Bei der Transmissionsmessung (Durchlichtmessung) wird die Absorption des ausgesendeten Lichtstrahles (sichtbar oder infrarot) im und an de im Gewässer befindlichen Feststoffteilchen bestimmt. Die Transmission des emittierten Lichtes wird gemessen.

Zur praktischen Interpretation des Trübungswerts dient der Vergleich mit einer Standardsuspension, d.h. die Trübungsmessgeräte werden mit einer Vergleichslösung (meist Formazin $C_2H_4N_2$) kalibriert.
Die Anzeige erfolgt somit nicht in Form der gemessenen Lichtintensität, sondern als Konzentration der Kalibrierungssuspension. Die am häufigsten angewendeten Einheiten sind (SIGRIST-PHOTOMETER, 2006):

- **FAU** – „Formazine Attenuation Units" Norm ISO 7027, Einheit für die Durchlichtmessung
- **FNU** – „Formazine Nephelometric Units" Norm ISO 7027, Einheit für die Messung bei 90° Winkel
- **FTU** – „Formazine Turbidity Unit", in der Wasseraufbereitung verwendete Einheit
- **NTU** „Nephelometric Turbidity Unit", in der Wasseraufbereitung verwendete Einheit für die Messung bei 90° gemäß den Vorschriften der US-EPA

Neben dieser auf Basis von Formazin – Suspension durchgeführten Messgerätekalibrierung ist laut DVWK, 1999 eine sorgfältige sedimentologische Eichung notwendig. Hierfür wird im Gewässer parallel zu der Trübungsmessungen eine Reihe von Schwebstoffeinpunktentnahmen getätigt. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Trübungswert und der Feststoffkonzentration einer Suspension besteht nur, wenn die Eigenschaften der Teilchen, ihr Brechungsindex und vor allem ihre Korngröße konstant sind (SIGRIST-PHOTOMETER, 2006). In Gewässern mit sich verändernden Korngrößenverteilungen hängt der Sondenwert von der Korngröße und dem Schwebstoffgehalt ab. Feinere Sedimente haben pro Gewichtseinheit mehr reflektierende Oberfläche, deshalb zeigt sich bei einem konstanten Schwebstoffgehalt, dass die Sondenanzeige steigt, wenn die Schwebstoffe feiner werden (SCHOELLHAMMER UND WRIGHT, 2003).

3.2.1.1 Trübungssonde Solitax ts-line®

An den Pegelmessstellen Gisingen/Ill und Lustenau/Rhein sind Trübungssonden der Marke Solitax ts-line® der Firma „Dr. Lange" im Einsatz. Das Messverfahren beruht auf den 90° Infrarot-Duo-Streulicht-Photometer für farbunabhängige Messung und entspricht der Norm EN ISO 27027. Bei der Trübungsmessung liegt der Messbereich der Sonde im Bereich von 0,001 – 4000 FNU. Weiters ist die Messung des Feststoffgehaltes (TS) in g/l bzw. mg/l möglich. Laut Hersteller bleibt das Messprinzip unter Anwendung eines anderen Berechnungsverfahrens das Selbe. Der Messbereich befindet sich zwischen 0,001 und 50 g/l.

Es handelt sich um eine selbstreinigende Tauchsonde für die kontinuierliche Trübungsmessung in Becken und Gerinnen. Die Ansprechzeit ist einstellbar mit dem kleinsten Wert von einer Sekunde. Das Auslesen und Speichern der Daten erfolgt bei den beiden Messstellen mittels Fernübertragung der 10 Minuten-Mittelwerte der gemessenen Schwebstoffkonzentrationen.

3.3 Auswertungen, Angleichung der Ganglinien und Frachtberechnung

3.3.1 Auswertekonzept

Die kontinuierlich aufgezeichneten Sondenwerte (bei Ill und Rhein 10 Minuten-Werte) stellen letztendlich die Grundlage für die Berechnung der Schwebstofffracht eines Gewässers dar. Anhand einer Funktion, die den Zusammenhang zwischen den gravimetrisch ermittelten Schwebstoffgehalten und den Uferentnahmen (Referenzproben) beschreibt, werden die Sondenwerte zu tatsächlichen, ufernahen Schwebstoffkonzentrationen umgerechnet (STIMPFL, 2006). Diese werden in weiterer Folge in mittlere Schwebstoffkonzentrationen des Querprofils mithilfe von Querprofilbeiwerten überführt. Querprofilbeiwerte geben das Verhältnis der, durch die Auswertung der Vielpunktentnahmen bestimmten, mittleren Schwebstoffkonzentrationen im gesamten Messquerschnitt, zu dem über den Entnahmezeitraum gemittelten ufernahen Uferprobengehalt an. Die Schwebstofffracht über einen längeren Zeitraum wird letztendlich über die so korrigierten Aufzeichnungen der Sondenwerte berechnet.

3.3.2 Auswertung von Vielpunktentnahmen

Gemäß DVWK (1986) kann die Auswertung der Vielpunktentnahmen zeichnerisch oder rechnerisch erfolgen. Abbildung 17 zeigt das Prinzip der rechnerischen Auswertung.

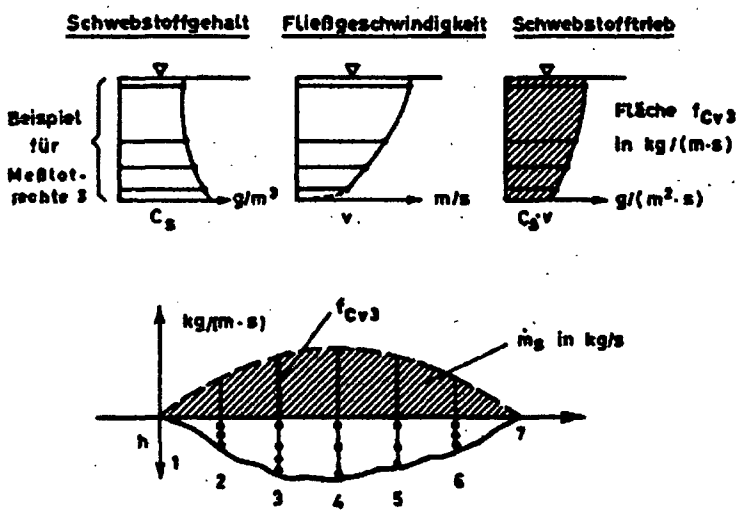


Abbildung 17: Prinzip der rechnerischen Auswertung einer Schwebstoffvielpunktentnahme (DVWK, 1986)

Im Rahmen der Diplomarbeit erfolgten die Auswertungen rechnerisch. Das Querprofil und die Lotrechten wurden in Rechtecke und Trapeze unterteilt. Im ersten Schritt wird in jedem Messpunkt das Produkt aus Schwebstoffgehalt C_S und Fließgeschwindigkeit v gebildet. Der Inhalt der Fläche je Lotrechter von der Sohle bis zur Wasseroberfläche ergibt den Schwebstofftrieb in [g/(m*s)]. Die Flächen werden mit der Trapezformel berechnet. Die Teilbereiche zwischen Gewässersohle und tiefstem Entnahmepunkt, sowie höchstem Entnahmepunkt und Wasseroberfläche werden durch Rechtecke angenähert.

Der Schwebstofftransport Q_S in [kg/s] für das gesamte Querprofil wird als nächstes, mit der Trapezformel aus den Schwebstofftrieben der einzelnen Lotrechten und den mitwirkenden Breiten ermittelt. An den Profilrändern wird der Schwebstofftrieb gleich Null gesetzt. Tabelle 1 veranschaulicht die Vorgangsweise bei der Auswertung einer Vielpunktentnahme.

Tabelle 1: Rechnerische Auswertung der Vielpunktentnahme vom 28.08.2006, Gisingen/Ill

Auswertung - Schwebstofftransport Gisingen/Ill - 28.08.2006 - Vielpunktennahme US-P61A									
Lotrechte	Abstand v. Nullpkt	Wassertiefe	Entnahmetiefe	C_s	V_m	$C_s * V_m$		S-Trieb f_{CV}	S-Transport
	b	t_V				$C_s * V_m$			$m_{s(i)}=[f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}]*[b(i+1) - b(i)]/2$
	[m]	[m]	[m]	[g/m³]	[m/s]	[g/m³*s]	[g/(m*s)]	[g/(m*s)]	[g/s]
Ufer	18.8	0.00							282.00
							15.49	176.25	1812.23
L1	22	1.24	1.06	116.18	0.73	86.08	6.77		
	22		0.99	134.34	0.80	107.28	30.63		
	22		0.74	127.67	1.08	137.79	77.25		
	22		0.25	130.51	1.36	177.50	34.79		
	22		0.06	128.77	1.47	188.69	11.32		
							24.10	779.86	3958.61
L2	26	2.50	2.32	167.68	0.80	133.90	75.82		
	26		2.00	156.87	2.17	339.97	164.85		
	26		1.50	134.34	2.38	319.43	336.10		
	26		0.50	134.47	2.62	352.77	157.27		
	26		0.06	132.70	2.73	362.10	21.73		
							79.93	1199.44	4987.08
L3	30	2.68	2.50	239.86	1.85	444.06	188.93		
	30		2.14	193.65	2.55	494.43	447.29		
	30		1.16	147.64	2.83	418.41	271.56		
	30		0.54	139.08	3.29	457.60	148.52		
	30		0.20	125.12	3.33	416.06	83.21		
							115.61	1294.10	4469.22
L4	34	2.76	2.48	223.02	1.85	412.89	151.80		
	34		2.21	228.46	3.11	711.59	309.67		
	34		1.66	153.88	2.69	414.49	495.76		
	34		0.55	152.00	3.15	478.77	175.10		
	34		0.13	107.91	3.29	355.04	46.16		
							38.21	940.51	2614.62
L5	38	2.88	2.70	174.06	1.22	212.30	99.97		
	38		2.30	152.44	1.89	287.57	179.78		
	38		1.73	134.44	2.55	343.25	393.78		
	38		0.58	114.84	2.97	341.57	89.97		
	38		0.34	134.08	3.04	408.21	138.79		
Ufer	43.56	0.00							
									Schwebstofftransport: 18223.76 g/s 18.22 kg/s

Zur späteren Berechnung des Querprofilbeiwertes (vgl. Kapitel 3.3.5) wird im nächsten Schritt die mittlere Schwebstoffkonzentration C_m im Querprofil aus der Division des errechnetet Schwebstofftransportes [g/s] und dem mittleren Durchfluss [m³/s] im Entnahmezeitraum berechnet.

3.3.3 Auswertung von Integrationsentnahmen

Für die Auswertung von Integrationsentnahmen gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten.

- Variante 1 (rechnerische Vereinigung der Proben)

Wird bei der Integrationsentnahme ein isokinetisches Entnahmegerät eingesetzt und mit konstanter Geschwindigkeit vom Wasserspiegel zur Sohle und zurück bewegt, kann die Schwebstoffprobe bereits als gewichtet mit der mittleren Geschwindigkeit in der Lotrechten betrachtet werden. Der erhaltene mittlere Schwebstoffgehalt einer Lotrechten ist dann repräsentativ für den gesamten Streifen, wenn dessen Breite beidseitig je den halben Abstand der Messlotrechten zueinander beträgt. Um daraus die mittlere mit dem Durchfluss gewichtete Schwebstoffkonzentration des gesamten Querprofils zu erhalten, wird der Quotient aus der Summe der Schwebstoffgehalte aller Lotrechten und der Summe der jeweiligen Entnahmemengen gebildet.

- Variante 2 (ohne rechnerische Vereinigung der Proben)

Bei Durchführung der Integrationsentnahmen mit einem isokinetischen Entnahmegerät, dessen Absenk- und Hebegeschwindigkeit nicht konstant eingehalten werden kann, muss der ermittelte mittlere Schwebstoffgehalt noch mit der mittleren Geschwindigkeit v_m multipliziert werden. Der Schwebstofftrieb [g/(m*s)] je Lotrechter wird aus dem Produkt, des mit der Geschwindigkeit gewichteten mittleren Schwebstoffgehaltes und der jeweiligen Wassertiefe gebildet. Die Schwebstofftriebe werden - wie bei der Auswertung der Vielpunktentnahme – mit Hilfe der Trapezformel auf das gesamte Querprofil aufgerechnet.

Im Rahmen der Diplomarbeit stand mit dem US-P61A Sampler ein isokinetisches Entnahmegerät zur Verfügung. Die Auswertung der Integrationsentnahmen erfolgte nach dem Prinzip der Variante 2, da das Halten einer konstanten Geschwindigkeit durch die manuelle Steuerung der Messseilbahn nicht gewährleistet werden konnte (vgl. Kapitel 3.1.3).
Die Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit je Lotrechter erfolgte mit der Zweipunkt-Messmethode nach KREPS und den Geschwindigkeitswerten der Flügelmessung.

Die mittleren Geschwindigkeiten nach KREPS ergeben sich nach der Gleichung:

$$v_m\ [m/s] = 0{,}31 * v_{h0} + 0{,}634 * v_{0{,}38*h} \quad (3)$$

wobei v in 0,38*h durch v in 0,4*h in grober Annäherung ersetzt wurde.

Tabelle 2 zeigt die rechnerische Auswertung am Beispiel der Integrationsentnahme vom 28.08.2006 in Gisingen/Ill.

Tabelle 2: Auswertung der Integrationsentnahme vom 28.08.2006, Gisingen/Ill

Auswertung - Schwebstofftransport Gisingen/Ill 28.08.2006 - Integrationsmessung US - P61A									
Lotrechte	Wassertiefe	C_s	Vo	V0,4	V_m	$C_s * V_m$	S-Trieb	Abstand v. Nullpkt	S-Transport
	h (t_v)					$C_s * V_m$	$f_{Cs}=(C_s * V_m)*h$	b	$m_{s(i)}=[(f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)})/2]*(b_{(i+1)} - b_{(i)})$
	[m]	[g/m³]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[g/m³*s]	[g/m*s]	[m]	[g/s]
					0		0.00	18.8	289.75
L1	1.24	128.06	1.47	1.08	1.14	146.04	181.09	22	2296.06
L2	2.50	164.22	2.73	2.38	2.36	386.77	966.94	26	5005.41
L3	2.68	202.74	3.33	2.83	2.83	573.05	1535.77	30	6365.87
L4	2.76	218.98	3.29	2.69	2.73	596.80	1647.17	34	5997.72
L5	2.88	183.40	3.04	2.55	2.56	469.34	1351.70	38	3757.72
								43.56	
									Schwebstofftransport: 23712.53 g/s 23.71 kg/s

3.3.4 Bestimmung der Umrechnungsfunktion von Sondenaufzeichnung in sondennahe Konzentrationen

Die an den Messstellen installierten Trübungssonden der Firma „Dr. Lange" (vgl. Kapitel 3.2.1.1) registrieren Trübungswerte und keine tatsächlichen Schwebstoffkonzentrationen. Eine Kalibrierung der durch die Sonde aufgezeichneten Werte durch Referenzmessungen ist daher notwendig. Als Referenzproben gelten alle in Sondennähe genommenen Einzelproben. Da Referenzproben nur alle paar Tage genommen werden können, muss für die Zwischenzeit eine empirische Beziehung aufgestellt werden, die eine Umrechnung der Sondenwerte T_r in sondennahe Schwebstoffkonzentrationen C_r ermöglicht.
Liegen nur wenige Referenzproben mit großen Zeitabständen dazwischen vor, eignet sich die Herstellung einer Beziehung zwischen den Schwebstoffgehalten der Referenzproben C_r und den Sondenwerten T_r mittels linearer Regressionsanalyse gut. Die ermittelten Parameter a und b der Regressionsbeziehung

$$C_r = a + b * T_r \quad (4)$$

können, wenn das Bestimmtheitsmaß R^2 ausreichend hoch ist, zur Umrechnung der kontinuierlich aufgezeichneten Sondenwerte in sondennahe Schwebstoffkonzentrationen verwendet werden.

3.3.5 Bestimmung des Querprofilbeiwerts K_Q

Im Fließgewässerquerschnitt ist der Schwebstoffgehalt nicht gleichmäßig verteilt. Die nur punktuell am Ufer gültigen Werte der Sondenaufzeichnung, müssen zur Frachtberechnung des gesamten Gewässerquerschnittes, nach Umrechnung in sondennahe Schwebstoffkonzentrationen mit einem Querprofilbeiwert K_Q in mittlere Schwebstoffkonzentrationen des Querschnitts umgerechnet werden.

$$K_Q = \frac{Cm}{Cr} \qquad (5)$$

Die K_Q-Faktoren errechnen sich aus der Division der mittleren Schwebstoffkonzentration des gesamten Querprofils C_m (bestimmt aus den Vielpunkt- oder Integrationsentnahmen) durch den mittleren Schwebstoffgehalt der während der Vielpunktentnahme in Sondennähe entnommenen Referenzproben C_r. Diese so ermittelten K_Q-Faktoren sind jedoch nur für den begrenzten Zeitraum der Vielpunktentnahme, aus welcher K_Q berechnet wurde, gültig. Es ist daher notwendig eine Beziehung zwischen den Querprofilbeiwerten und den Abflüssen oder eventuell auch Sondenwerten zu finden. Ein vorläufiger hypothetischer Zusammenhang kann durch eine lineare Regressionsanalyse aufgestellt werden. Um allerdings ein ausreichend hohes Bestimmtheitsmaß R^2 zu bekommen ist eine Vielzahl von Messungen bei verschiedenen Abflüssen notwendig. Die Formel der Regressionsgeraden kann nun angewendet werden um aus den 15-Minuten-Mittelwerten des Abflusses, K_Q-Faktoren für die gesamte interessierende Periode zu berechnen. Die mit Regression in sondennahe Schwebstoffkonzentrationen umgerechneten Sondenwerte, können anschließend in mittlere Schwebstoffgehalte C_m des gesamten Querprofils berechnet werden.

3.3.6 Frachtberechnung

Die Schwebstofffracht in [t] ist gemäß DIN 4049, Teil 1, Ziffer 3.5.8 und 3.5.13 der für eine bestimmte Zeitspanne summierte Schwebstofftransport. Der Schwebstofftransport Q_s in [g/s] ist gemäß DIN 4049, Teil 1, Ziffer 3.5.7 die Masse der in der Zeiteinheit durch den betrachteten Querschnitt treibenden Schwebstoffe. Dieser stellt das Produkt aus Schwebstoffgehalt C_s in [g/m³] und dem Abfluss Q in [m³/s] dar (DVWK, 1986).

Zur Berechnung der Schwebstofffracht eines bestimmten Zeitraumes werden die – gemäß den vorhin erläuterten Methoden ermittelten – mittleren Schwebstoffgehalte C_m

[g/m³] des bestimmten Zeitraums, mit dem Abfluss [m³/s] des bestimmten Zeitraums multipliziert und das Mittel errechnet. So ergibt sich ein mittlerer Schwebstofftransport [g/s] des bestimmten Zeitraums. Dieser Wert muss nun mit der Anzahl der Sekunden des bestimmten Zeitraums summiert werden.

Eine weitere Methode der Frachtberechnung ist aus den Jahren 1981/82 durch die Vorarlberger Illwerke bekannt. Der Schwebstoffgehalt wird durch eine, vom Durchfluss abhängige Exponentialfunktion berechnet. Über die Dauerlinie wird in weiterer Folge die Schwebstofffracht berechnet.

3.4 Messprogramm Gisingen/Ill

Zur Darstellung der Schwebstoffverhältnisse an der Messstelle Gisingen/Ill und zur Ermittlung der für die Angleichung der Ganglinie notwendigen Daten, wurden im Sommer 2006 Entnahmen mit verschiedenen Methoden vorgenommen. Insgesamt wurden sechs Vollprofilentnahmen durchgeführt, wobei für die anschließende Auswertung nur vier - Abbildung 18 - davon Verwendung fanden. Es wurde weiters darauf Wert gelegt die Entnahmen bei unterschiedlichen Abflüssen durchzuführen, um eine möglichst große Streubreite der Schwebstoffkonzentration zu erhalten.

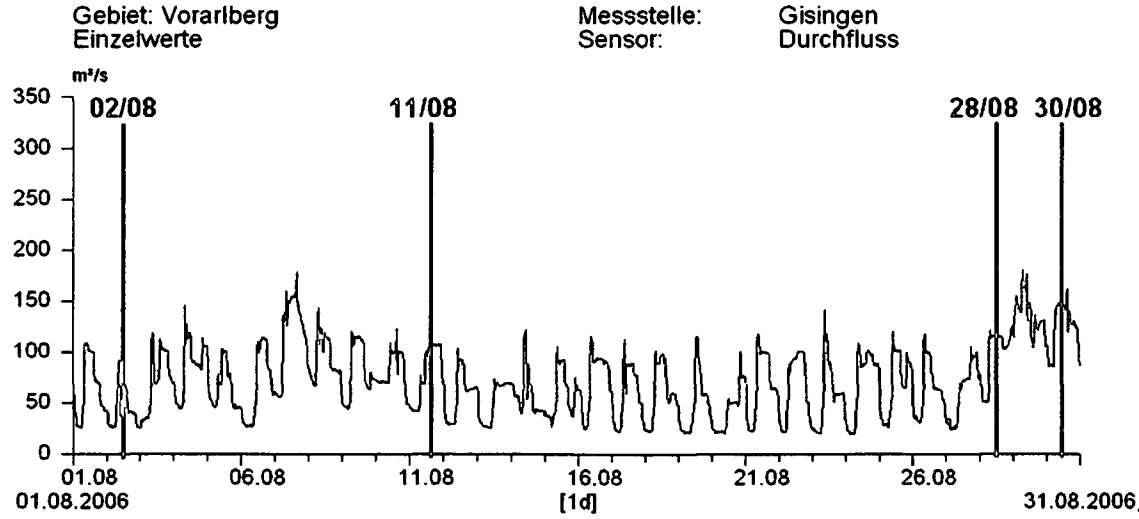


Abbildung 18: Abflussganglinie mit den Messtagen im August 2006 an der Messstelle Gisingen/Ill

Das gesamte Messprogramm ist in Tabelle 3 detailliert zusammengestellt.

Tabelle 3: Messprogramm August 2006 der Messstelle Gisingen/Ill

Datum	Messung	Entnahmegerät
02.08.2006	1 Flügelmessung	
	Vielpunktentnahme 5 Lotrechte (5 Tiefenstufen)	US-P61 Sampler
	1 Dauerentnahme 3 1/2 h	
11.08.2006	1 Flügelmessung	
	Vielpunktentnahme 5 Lotrechte (5 Tiefenstufen)	US-P61 Sampler
	Integrationsentnahme 5 Lotrechte	US-P61 Sampler
	1 Dauerentnahme 3h	
28.08.2006	1 Flügelmessung	
	Vielpunktentnahme 5 Lotrechte (5 Tiefenstufen)	US-P61 Sampler
	Integrationsentnahme 5 Lotrechte	US-P61 Sampler
	1 Dauerentnahme 2 1/2 h	
30.08.2006	1 Flügelmessung	
	Vielpunktentnahme 5 Lotrechte (5 Tiefenstufen)	US-P61 Sampler
	Integrationsentnahme 5 Lotrechte	US-P61 Sampler
	1 Dauerentnahme 4 1/2 h	

3.5 Messprogramm Lustenau/Rhein

An der Messstelle Lustenau/Rhein konnte mit zwei Messtagen - Abbildung 19 - ein erster Eindruck von der Schwebstoffverteilung im Querprofil gewonnen werden. Das gesamte Messprogramm ist in Tabelle 4 detailliert zusammengestellt.

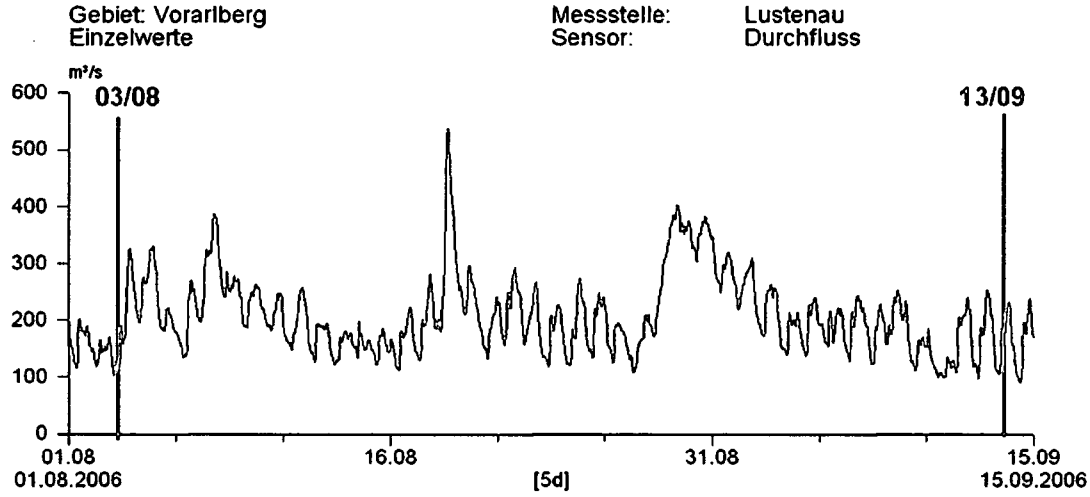


Abbildung 19: Abflussganglinie mit den Messtagen im August und September 2006 an der Messstelle Lustenau/Rhein

Tabelle 4: Messprogramm im August und September 2006 an der Messstelle Lustenau/Rhein

Datum	Messung	Entnahmegerät
03.08.2006	1 Flügelmessung	
	Vielpunktentnahme 5 Lotrechte (5 Tiefenstufen)	US-P61 Sampler
	Integrationsentnahme 5 Lotrechte	US-P61 Sampler
13.09.2006	1 Flügelmessung	
	Vielpunktentnahme 5 Lotrechte (5 Tiefenstufen)	US-P61 Sampler
	Integrationsentnahme 5 Lotrechte	US-P61 Sampler

4 Daten und Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Daten und Ergebnisse der durchgeführten Messungen dargestellt und erläutert. Ebenso erfolgt eine Darlegung der angewendeten Methoden zur Ermittlung der sondennahen Konzentrationsganglinie und der Querprofilbeiwerte, die für die Berechnung der Schwebstofffracht erforderlich sind.

4.1 Gisingen/Ill

4.1.1 Trübungsganglinien und sondennahe Referenzproben

Die Trübungssonde Solitax ts-line® lieferte im Juli, August und September 2006 in Gisingen/Ill - Abbildung 20 - kontinuierlich brauchbare Werte. Sondennahe Referenzproben wurden an allen Messtagen mit dem Schöpfgerät entnommen. Eine Auflistung aller Referenzproben ist im Anhang (Seite 94) zu finden.

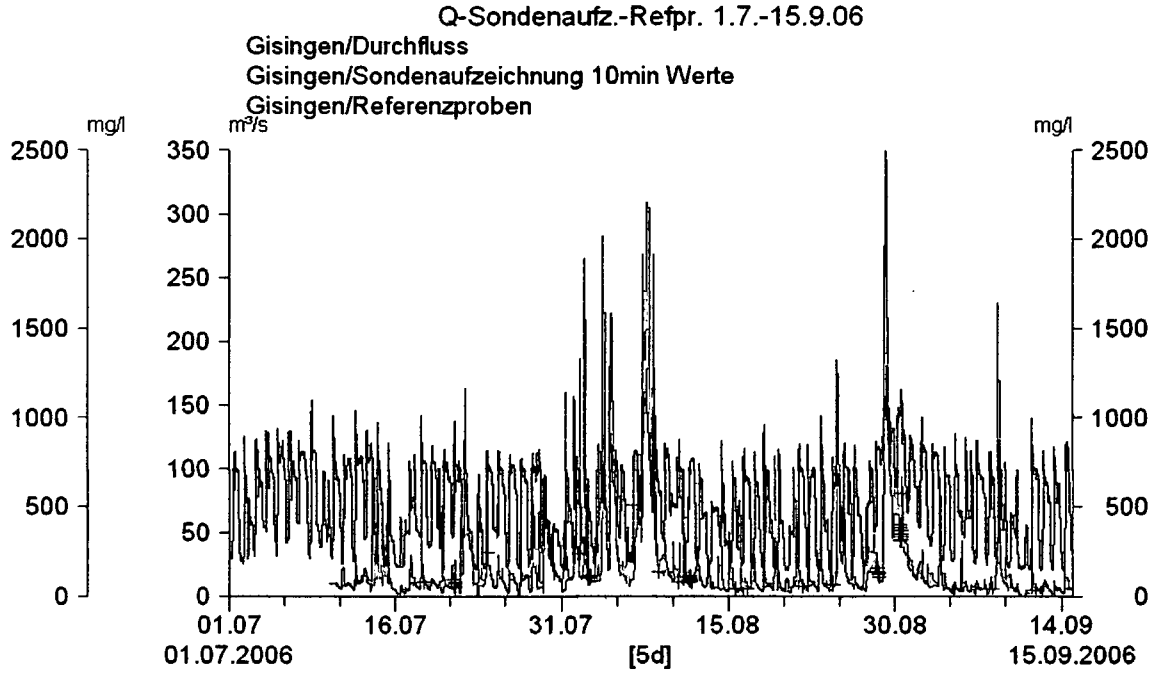


Abbildung 20: Durchflussganglinie und Sondenaufzeichnung mit entnommenen Referenzproben Gisingen/Ill

4.1.2 Vielpunktentnahmen

Die Vielpunktentnahmen wurden in Gisingen/Ill mit Hilfe des US-P61A Suspended Sediment Sampler durchgeführt. Im folgenden Kapitel sollen diese genau erläutert und grafisch dargestellt werden.

4.1.2.1 Vielpunktentnahme vom 02.08.2006

Diese Vielpunktentnahme wurde bei Mittelwasser, bei Wasserständen zwischen 201 und 233 cm, mit fallendem Durchfluss von 65,2 auf 48,5 m³/s durchgeführt. Während des Messzeitraums von 3 ½ Stunden (11:15 bis 14:49 Uhr) zeigt die Sondenaufzeichnung eine gering fallende Konzentration von 143 auf 116 mg/l.

Abbildung 21 stellt die Abfluss- und Trübungverhältnisse während der Durchführung der Flügelmessung und Vielpunktentnahme, und die am Ufer entnommenen Referenzproben dar.

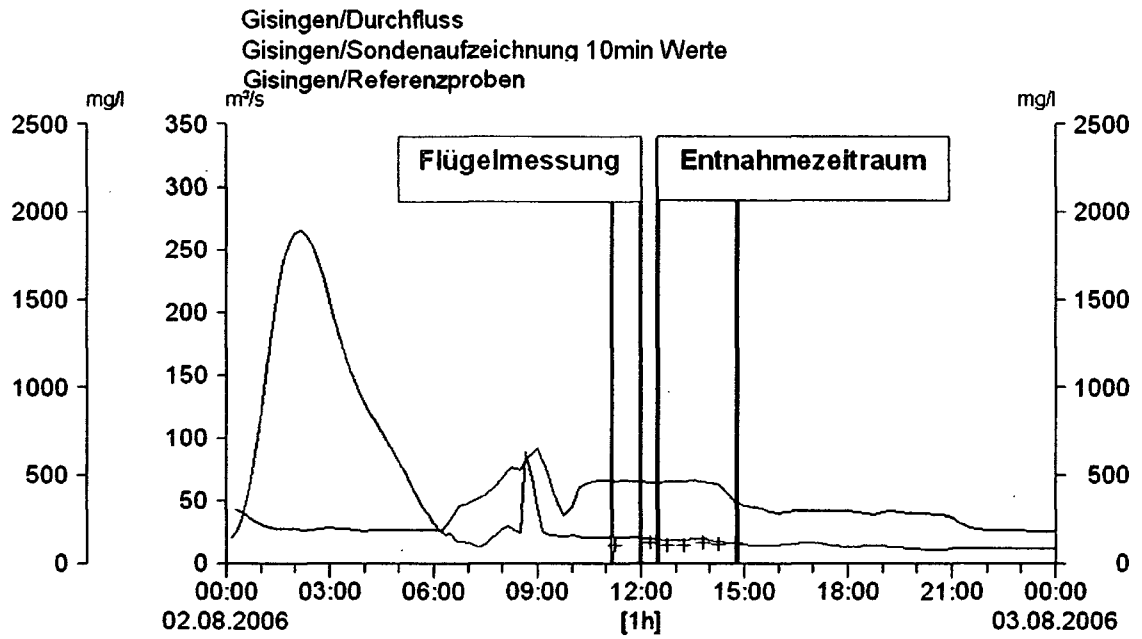


Abbildung 21: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Vielpunktentnahme am 02.08.2006, Gisingen/Ill

Die Probeentnahme wurde in fünf Lotrechten mit 5 Tiefenstufen (0,05*h, 0,2*h, 0,6*h, 0,8*h und 0,95*h) durchgeführt. Bei der ersten Lotrechten konnte auf den untersten Entnahmepunkt (0,95*h) aufgrund der geringen Wassertiefe verzichtet werden. Der Abstand zwischen den Messlotrechten betrug 4 m. Nach der zweiten Messlotrechte zeigte sich, dass sich das Ventil des Entnahmegerätes nicht richtig öffnete. Eine eventuelle Verfälschung der Schwebstoffgehalte kann nicht ausgeschlossen werden. Außerdem verzögerte die etwa halbstündige Reperaturzeit die Vielpunktentnahme zum Nachteil der letzten Messlotrechten. Beim vorletzten Entnahmepunkt sank der Wasserspiegel auf 203 cm.

Die Messung der Fließgeschwindigkeit in der jeweiligen Tiefe erfolgte vor der Vielpunktentnahme mittels Messflügel.

Die in den einzelnen Entnahmepunkten ermittelten Schwebstoffgehalte schwanken zwischen 31,52 und 149,62 mg/l, wobei die Konzentrationen zumindest in 3 Lotrechten mit der Tiefe zunehmen. Die Fließgeschwindigkeiten in den zwei tiefsten Entnahmepunkten belaufen sich im Mittel auf 1,47 m/s. Die Fließgeschwindigkeiten in den obersten drei Entnahmepunkten betragen im Mittel 2,18 m/s.

Als mittlere Schwebstoffkonzentration C_m im Querprofil wurden 105,77 mg/l bestimmt. Der mittlere Schwebstoffgehalt der sechs, während der Vielpunktentnahme gewonnenen sondennahen Referenzproben C_r beträgt 107,92 mg/l, woraus sich ein Querprofilbeiwert K_Q (C_m/C_r) von rund 0,98 ergibt.

Der Schwebstofftransport für den Messzeitraum beträgt 6,58 kg/s.

Abbildung 22 zeigt die Verteilung der Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil in Verbindung mit der mittleren Geschwindigkeit, den Schwebstofftrieb in g/(m*s) je Lotrechter sowie Mittelwerte der Referenzproben und Sondenwerte.

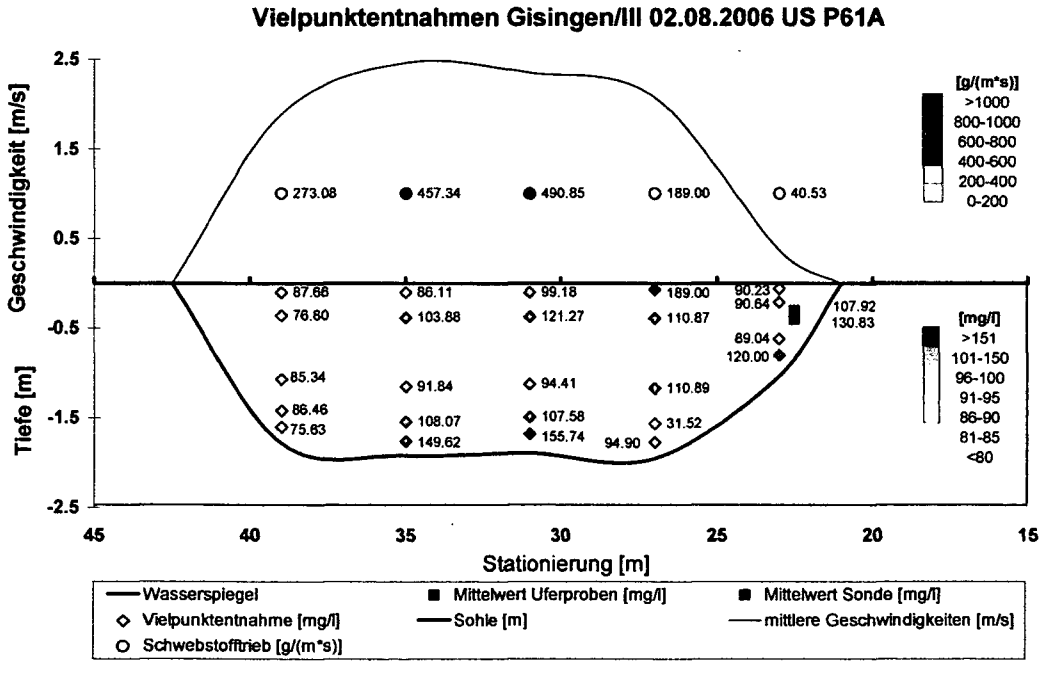


Abbildung 22: Grafische Darstellung der Vielpunktentnahme vom 02.08.2006 Gisingen/Ill

4.1.2.2 Vielpunktentnahme vom 11.08.2006

Die Vielpunktentnahme vom 11.08.2006 wurde bei leicht erhöhtem Mittelwasser durchgeführt. Im Entnahmezeitraum von 13:20 bis 14:51 Uhr schwankte der Abfluss von 103 bis 106 m³/s. Der Wasserstand betrug zwischen 180 und 195 cm. Die Sondenwerte hielten sich relativ konstant bei 91 bis 95 mg/l.

In Abbildung 23 sind die Ganglinien des Abflusses und der Trübungsanzeige der Sonde für den Entnahmezeitraum ersichtlich.

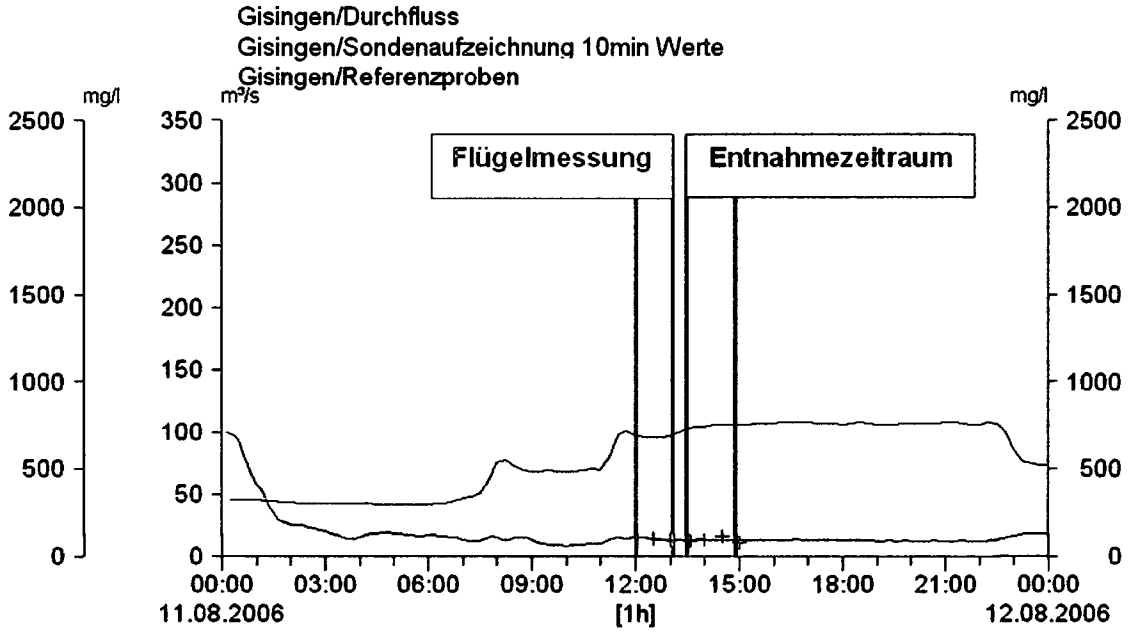


Abbildung 23: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Vielpunktentnahme am 11.08.2006, Gisingen/Ill

Die Vielpunktentnahme vom 11.08.2006 umfasst fünf Lotrechte mit je fünf Tiefenstufen, wobei in der ersten Lotrechte wiederum auf den tiefsten Entnahmepunkt verzichtet werden konnte. Nach erfolgter Probenentnahme in der letzten Tiefenstufe (0,95*h) wurde in jeder Lotrechten jeweils auch eine Integrationsentnahme (siehe Kapitel 4.1.3) durchgeführt. Dies hat den Zweck, die Ergebnisse der Integrationsentnahme mit denen der Vielpunktentnahmen vergleichen zu können.
Die Messung der Fließgeschwindigkeiten in den Entnahmepunkten und Bestimmung der Entnahmetiefen erfolgte durch eine Flügelmessung im Vorfeld der Probenentnahme. Der gesamte Messzeitraum betrug drei Stunden.

Die Schwebstoffkonzentrationen in den Entnahmepunkten schwanken zwischen 74,05 und 169,49 mg/l. Eine Zunahme der Schwebstoffgehalte mit der Wassertiefe kann in

fünf von sechs Lotrechten erkannt werden. In der ersten Lotrechte, wo aufgrund einer niedrigen Wassertiefe nur vier Entnahmen erfolgt sind, sind die Schwebstoffgehalte annähernd konstant. Die höchsten Konzentrationen befinden sich eindeutig in der Gewässermitte (dritte und vierte Lotrechte). Der Mittelwert der Fließgeschwindigkeiten in den drei tiefsten Entnahmepunkten beläuft sich auf 1,82 m/s, die mittlere Fließgeschwindigkeit der oberen zwei Entnahmepunkte beträgt 2,56 m/s.

Der mittlere Schwebstoffgehalt im Querprofil wurde mit 98,32 mg/l bestimmt. Der mittlere Schwebstoffgehalt der vier, während der Vielpunktentnahme gewonnenen sondennahen Referenzproben C_r beträgt 91,56 mg/l, woraus sich ein Querprofilbeiwert K_Q (C_m/C_r) von rund 1,07 ergibt.

Der Schwebstofftransport für den Messzeitraum beträgt 10,32 kg/s.

Die Verteilung der Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil in Verbindung mit der mittleren Geschwindigkeit, der Schwebstofftrieb in g/(m*s) je Lotrechter, sowie die Mittelwerte der Referenzproben und Sondenwerte sind in Abbildung 24 grafisch dargestellt.

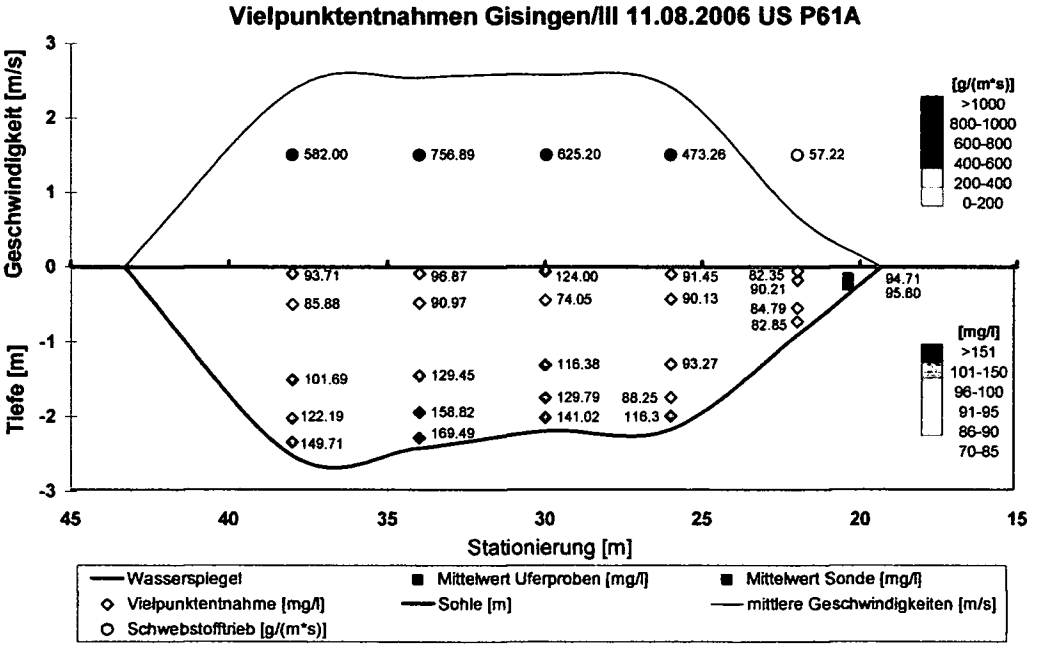


Abbildung 24: Grafische Darstellung der Vielpunktentnahme vom 11.08.2006 Gisingen/Ill

4.1.2.3 Vielpunktentnahme vom 28.08.2006

Diese Vielpunktentnahme wurde bei erhöhtem Mittelwasser durchgeführt. Im Entnahmezeitraum von 11:45 bis 13:22 Uhr schwankte der Abfluss zwischen 115 und 117 m³/s. Der Wasserstand verhielt sich relativ konstant bei 306 bis 308 cm. Die Sondenwerte schwankten zwischen 110 und 125 mg/l.

In Abbildung 25 sind die quasi stationär verlaufenden Ganglinien des Abflusses und der Trübungsanzeige der Sonde für den Entnahmezeitraum ersichtlich.

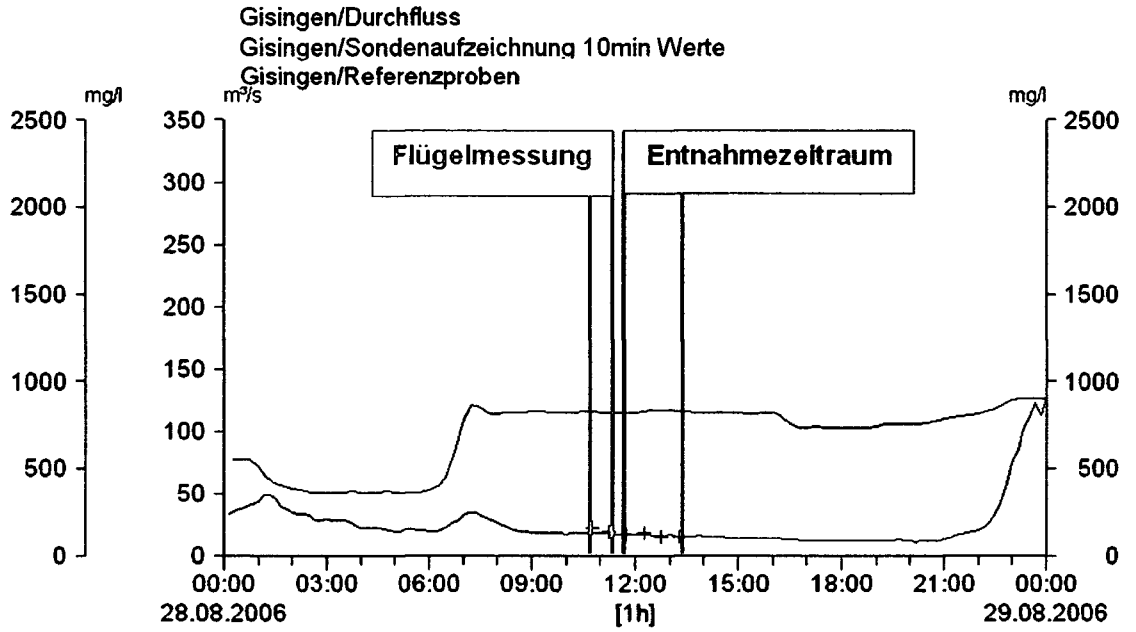


Abbildung 25: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Vielpunktentnahme am 28.08.2006, Gisingen/Ill

Die Vielpunktentnahme vom 28.08.2006 umfasst fünf Lotrechte mit je fünf Tiefenstufen. Nach erfolgter Probenentnahme in der letzten Tiefenstufe (0,95*h) wurde in jeder Lotrechten jeweils auch eine Integrationsentnahme durchgeführt. Die Messung der Fließgeschwindigkeiten in den Entnahmepunkten und Bestimmung der Entnahmetiefen erfolgte durch eine Flügelmessung vor der Probenentnahme. Somit entfallen für den gesamten Messzeitraum etwas mehr als 2 ½ Stunden. Diese Messung ist ein sehr gutes Beispiel für schnelle Durchführbarkeit. Voraussetzung hierfür ist ein gut eingespieltes Team und das Ausbleiben jeglicher technischer und zeitraubender Störungen.

Die Schwebstoffkonzentrationen in den Entnahmepunkten schwanken zwischen 107,91 und 239,86 mg/l. Eine Zunahme der Schwebstoffgehalte kann wie bei der

Messung vom 11.08.2006 in fünf von sechs Lotrechten erkannt werden. Die höchsten Konzentrationen befinden sich wiederum eindeutig in der Gewässermitte (dritte und vierte Lotrechte). Der Mittelwert der Fließgeschwindigkeiten in den drei tiefsten Entnahmepunkten beläuft sich auf 1,90 m/s, die mittlere Geschwindigkeit der oberen zwei Entnahmepunkte beträgt 2,40 m/s.

Als mittlere Schwebstoffkonzentration C_m im Querprofil wurden 156,91 mg/l bestimmt. Der mittlere Schwebstoffgehalt der vier, während der Vielpunktentnahme gewonnenen sondennahen Referenzproben C_r beträgt 117,17 mg/l, mit einem Schwankungsbereich von 108,61 bis 128,77 mg/l. Daraus ergibt sich ein Querprofilbeiwert K_Q (C_m/C_r) von rund 1,34.

Der Schwebstofftransport für den Messzeitraum beträgt 18,22 kg/s.

Abbildung 26 zeigt die Verteilung der Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil in Verbindung mit der mittleren Geschwindigkeit, den Schwebstofftrieb in kg/(m*s) je Lotrechter, sowie Mittelwerte der Referenzproben und Sondenwerte.

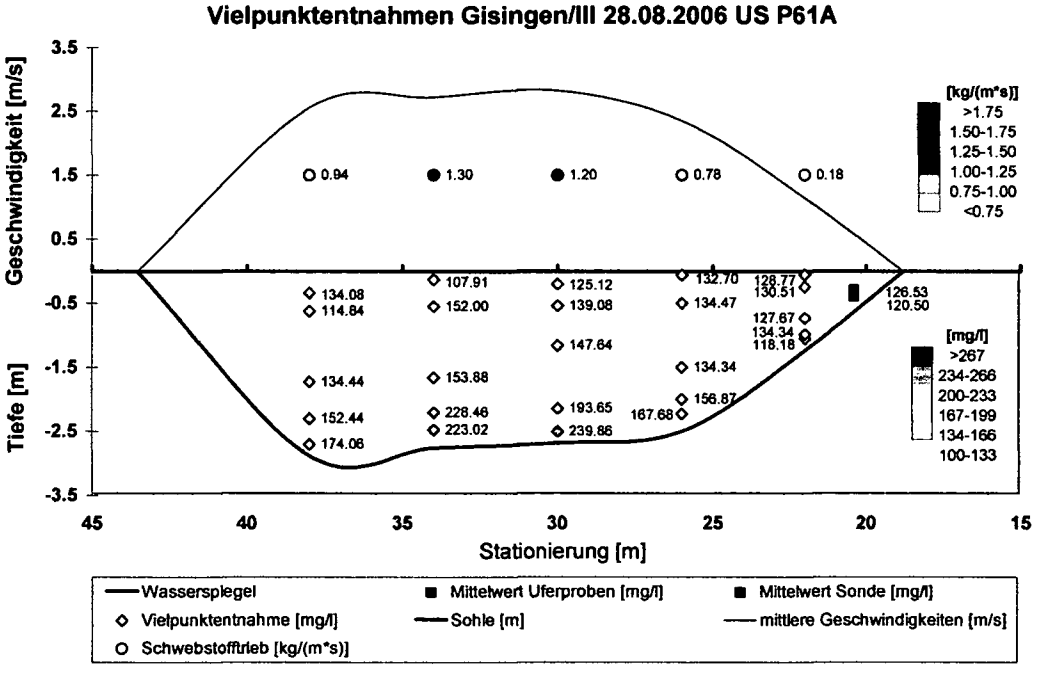


Abbildung 26: Grafische Darstellung der Vielpunktentnahme vom 28.08.2006 Gisingen/Ill

4.1.2.4 Vielpunktentnahme vom 30.08.2006

Die letzte Vielpunktentnahme im Sommer 2006 wurde am 30.08.2006 bei einem durchschnittlichen Abfluss von 143,44 m³/s durchgeführt und sank im Entnahmezeitraum (12:22 bis 14:25 Uhr) von 146 auf 141 m³/s. Der Wasserstand sank von 345 auf 341 cm. Die Trübungswerte der Sondenaufzeichnung variieren von 302 bis 334 mg/l mit einem Durchschnittswert von 322,25 mg/l.

In Abbildung 27 sind die Ganglinien des Abflusses und der Trübungsanzeigen der Sondenwerte mit den entnommenen Uferproben ersichtlich.

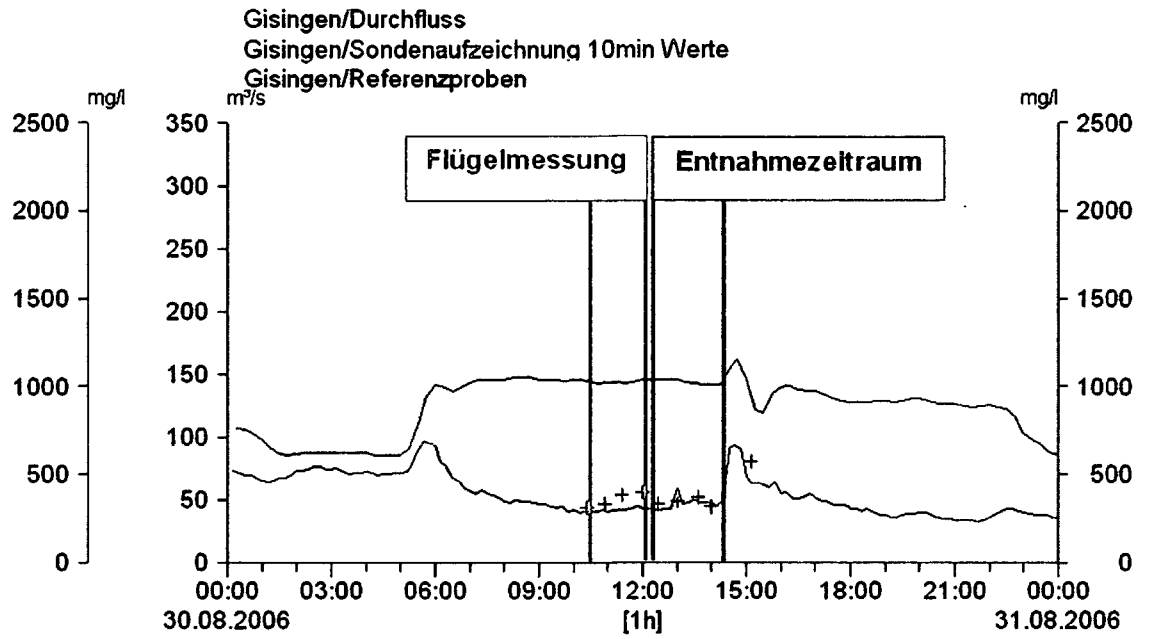


Abbildung 27: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Vielpunktentnahme am 30.08.2006, Gisingen/Ill

Auch diese Vielpunktentnahme umfasst fünf Lotrechte mit je fünf Tiefenstufen. Nach erfolgter Probenentnahme in der letzten Tiefenstufe (0,95*h) erfolgte, wie schon bei den vorangegangenen Messungen, in jeder Lotrechte eine Integrationsentnahme. Die Messung der Fließgeschwindigkeiten wurde mittels Messflügel vor der Vielpunktentnahme durchgeführt. Die gesamte Messung, Flügelmessung und Vielpunktentnahme dauerte am 30.08.2006 vier Stunden.

Die Schwebstoffkonzentrationen in den Entnahmepunkten schwanken zwischen 239,76 mg/l im zweiten Entnahmepunkt (0,2*h) der ersten Lotrechten und 798,53 mg/l im untersten Entnahmepunkt (0,95*h) der dritten Lotrechten. In allen fünf Lotrechten nehmen die Konzentrationen nach unten hin zu und die höchsten Konzentrationen

befinden sich in der Gewässermitte, der 3. und 4. Lotrechte. Der Mittelwert der Fließgeschwindigkeiten in den drei tiefsten Entnahmepunkten beläuft sich auf 2,03 m/s, die mittlere Fließgeschwindigkeit der oberen zwei Entnahmepunkte beträgt 2,95 m/s. Als mittlere Schwebstoffkonzentration C_m im Querprofil wurden 422,37 mg/l bestimmt. Der mittlere Schwebstoffgehalt der vier, während der Vielpunktentnahme gewonnenen sondennahen Referenzproben C_r beträgt 341,36 mg/l, und schwankt zwischen 330,00 und 371,09 mg/l. Daraus ergibt sich ein Querprofilbeiwert K_Q (C_m/C_r) von rund 1,24.

Die Trübungswerte der Sondenaufzeichnung schwanken während des Entnahmezeitraums zwischen 295 und 367 mg/l.

Der Schwebstofftransport für den Messzeitraum beträgt 60,58 kg/s.

Abbildung 28 zeigt die Verteilung der Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil in Verbindung mit der mittleren Fließgeschwindigkeit, den Schwebstofftrieb in kg/(m*s) je Lotrechter sowie Mittelwerte der Referenzproben und Sondenwerte.

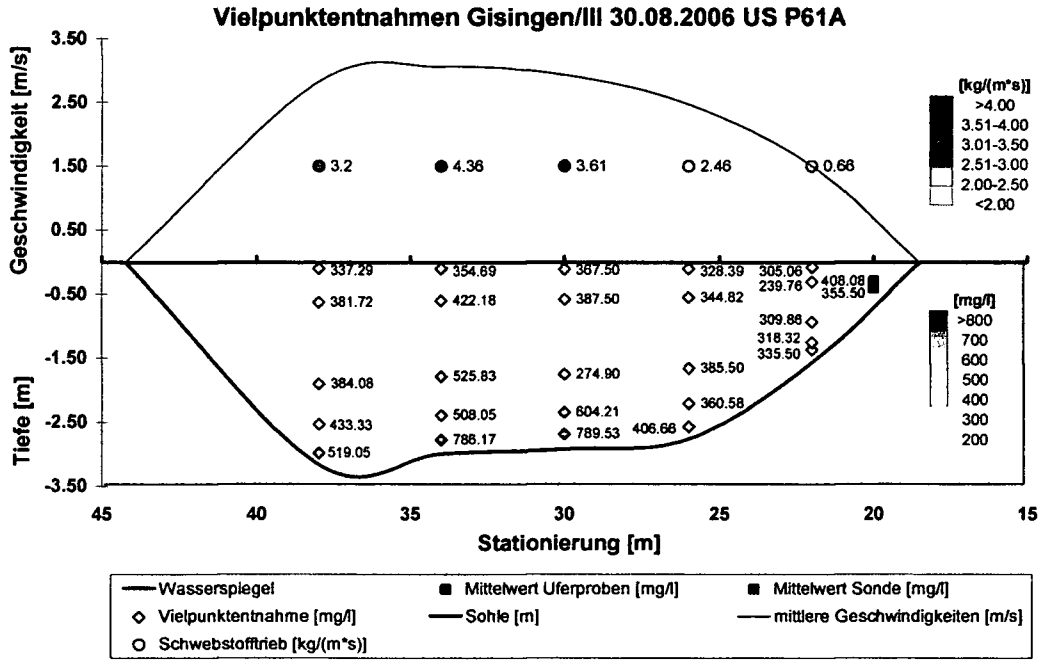


Abbildung 28: Grafische Darstellung der Vielpunktentnahme vom 30.08.2006 Gisingen/III

4.1.3 Integrationsentnahmen

In Gisingen/III wurden insgesamt vier Integrationsentnahmen durchgeführt, wovon eine Entnahme, die mithilfe des Nielsen Sediment Sammlers durchgeführt wurde, vorzeitig

abgebrochen werden musste. Neben stark schwankenden Wasserständen verhinderte die Verstopfung des Einlaufventils des Sammlers die Durchführung einer vollständigen Querprofilmessung. Diese Daten wurden deshalb in die Ergebnisse nicht mit einbezogen. Die restlichen drei Integrationsentnahmen wurden alle mit dem US-P61A Suspended Sediment Sampler durchgeführt.

4.1.3.1 Integrationsentnahme vom 11.08.2006

Die Integrationsentnahme vom 11.08.2006 wurde, wie bereits erwähnt, während der Vielpunktentnahme um 13:34 Uhr in der ersten Lotrechten, um 13:49 Uhr in der zweiten Lotrechten, um 14:12 Uhr in der dritten Lotrechten, um 14:33 Uhr in der vierten Lotrechten und um 14:55 Uhr in der fünften Lotrechten durchgeführt. Die Durchschnittswerte im Entnahmezeitraum betragen 105 m³/s (Schwankungen von 103 bis 106 m³/s) für den Abfluss, und 90 mg/l (Schwankungsbereich 90 bis 95 mg/l) für den Sondenwert der Trübungsanzeige.

Abbildung 29 zeigt die Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit den entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme.

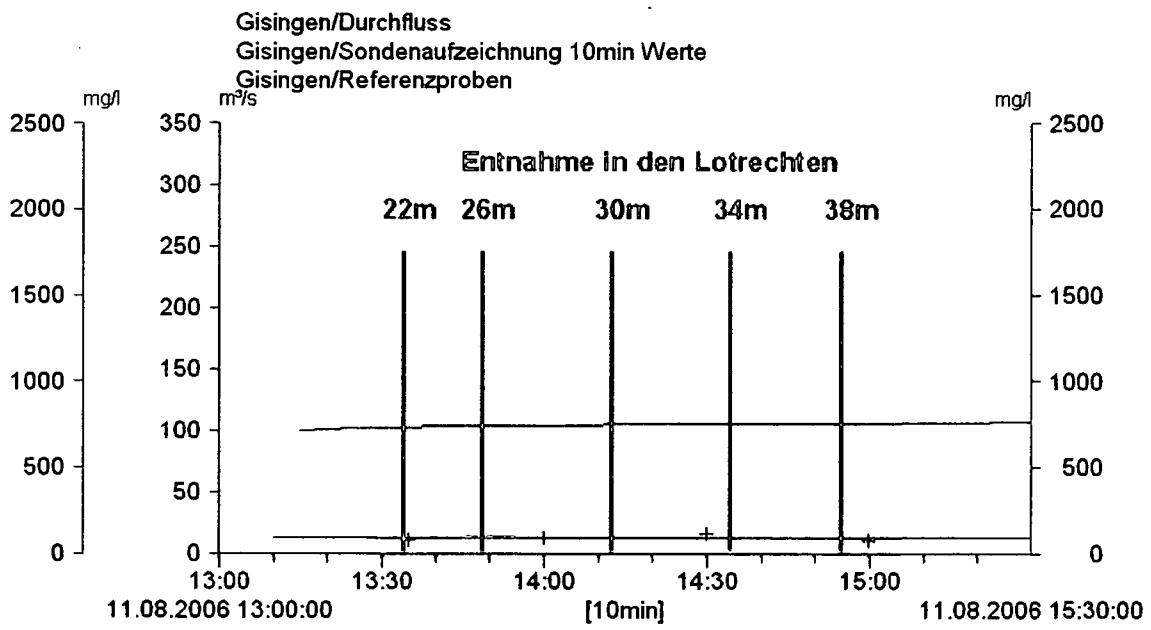


Abbildung 29: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme am 11.08.2006, Gisingen/Ill

Die Schwebstoffkonzentrationen in den einzelnen Lotrechten liegen zwischen 96,57 mg/l (erste Lotrechte) und 178,20 mg/l in der vierten Lotrechte. Die höchsten Konzentrationen befinden sich wie bei der Vielpunktentnahme in der Gewässermitte,

der dritten und vierten Lotrechten. Die mittleren Geschwindigkeiten, berechnet nach Kreps, belaufen sich zwischen 0,67 m/s in der ersten Lotrechte und 2,58 m/s in der dritten Lotrechte.

Als mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil wurden 141,27 mg/l bestimmt. Daraus errechnet sich ein Querprofilbeiwert K_Q (C_m/C_r) von rund 1,54.

Der Schwebstofftransport für den Zeitraum der Integrationsentnahme beträgt 14,83 kg/s.

Abbildung 30 zeigt die Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil in Verbindung mit der mittleren Geschwindigkeit, den Schwebstofftrieb in g/(m*s) je Lotrechter sowie Mittelwerte der Referenzproben und Sondenwerte.

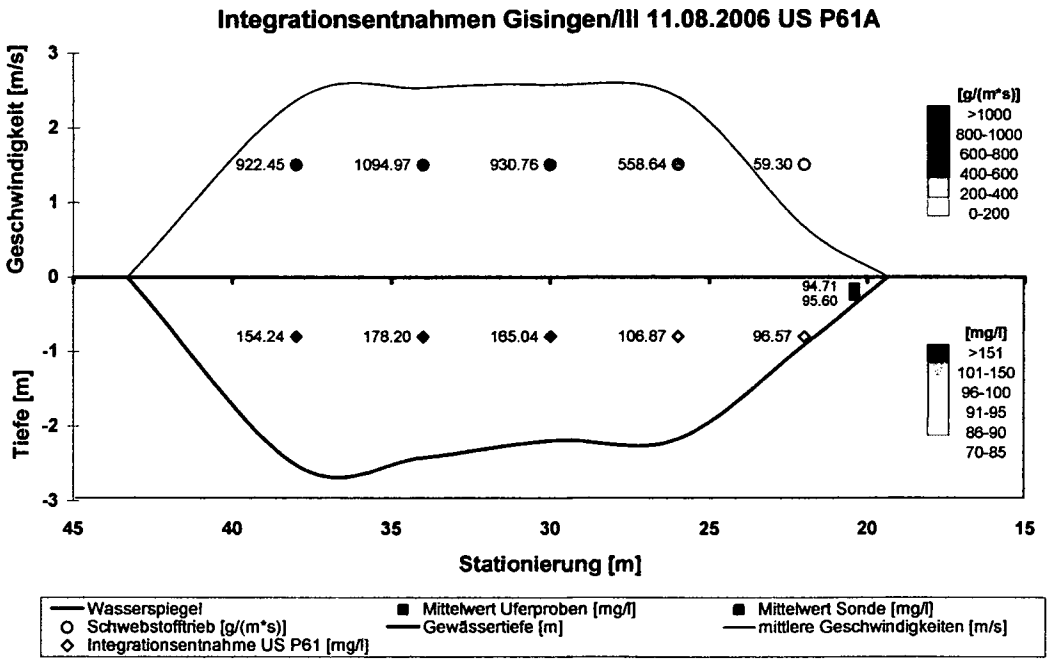


Abbildung 30: Grafische Darstellung der Integrationsentnahme vom 11.08.2006 Gisingen/Ill

4.1.3.2 Integrationsentnahme vom 28.08.2006

Diese Integrationsentnahme wurde gleichfalls während der Vielpunktentnahme durchgeführt. Entnahmezeitpunkt in der ersten Lotrechte war um 12:02, in der zweiten Lotrechte um 12:17, in der dritten Lotrechte um 12:34, in der vierten Lotrechte um 12:56 und in der fünften Lotrechte um 13:22. Der durchschnittliche Abfluss im Entnahmezeitraum beträgt 116,14 m³/s und schwankt zwischen 115 und 117 m³/s. Die

Aufzeichnungen der Trübungssonde variieren von 110 bis 126 mg/l, der Durchschnittswert beträgt 119 mg/l.

Abbildung 31 zeigt die Ganglinien des Abflusses und der Trübungsaufzeichnung, mit den entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme.

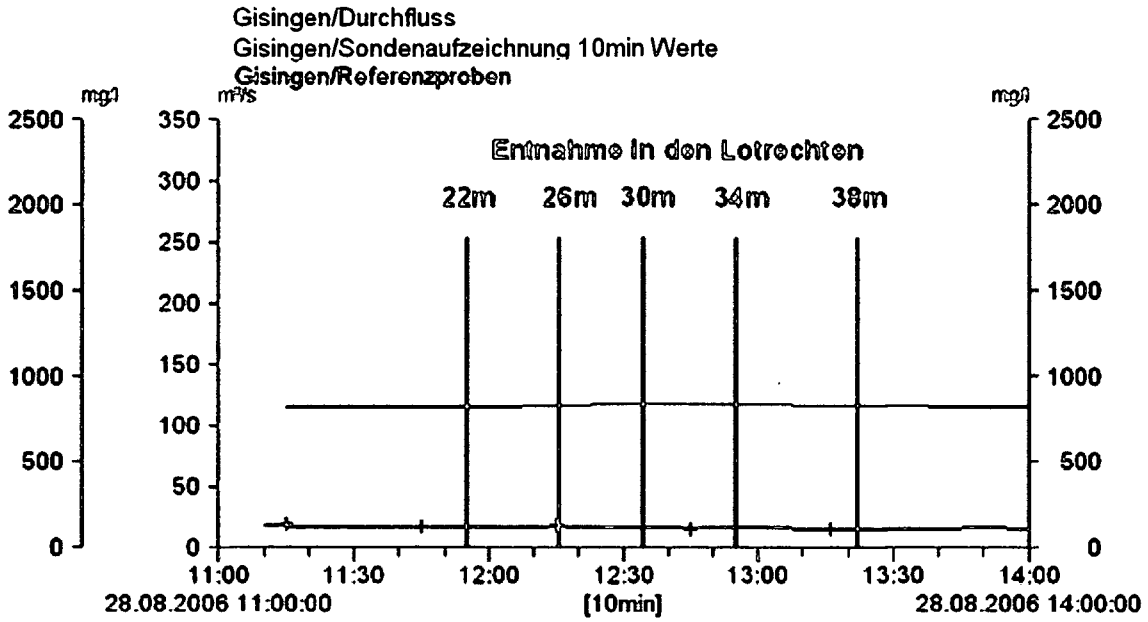


Abbildung 31: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme am 28.08.2006, Gisingen/Ill

Der niedrigste Schwebstoffgehalt im Querprofil befindet sich in der ersten Lotrechte mit 128,96 mg/l, die höchste Konzentration weist die dritte Lotrechte mit 202,74 mg/l auf. Die mittleren Geschwindigkeiten liegen zwischen 1,14 und 2,83 m/s (ebenfalls erste und dritte Lotrechte).

Die mittlere Schwebstoffkonzentration C_m wurde mit 203,84 mg/l ermittelt. Der errechnete Querprofilbeiwert K_Q (C_m/C_r) beträgt rund 1,74.

Der berechnete Schwebstofftransport im Entnahmezeitraum beträgt in etwa 23,71 kg/s.

Abbildung 32 zeigt die Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil in Verbindung mit der mittleren Geschwindigkeit, den Schwebstofftrieb in g/(m*s) je Lotrechter sowie Mittelwerte der Referenzproben und Sondenwerte.

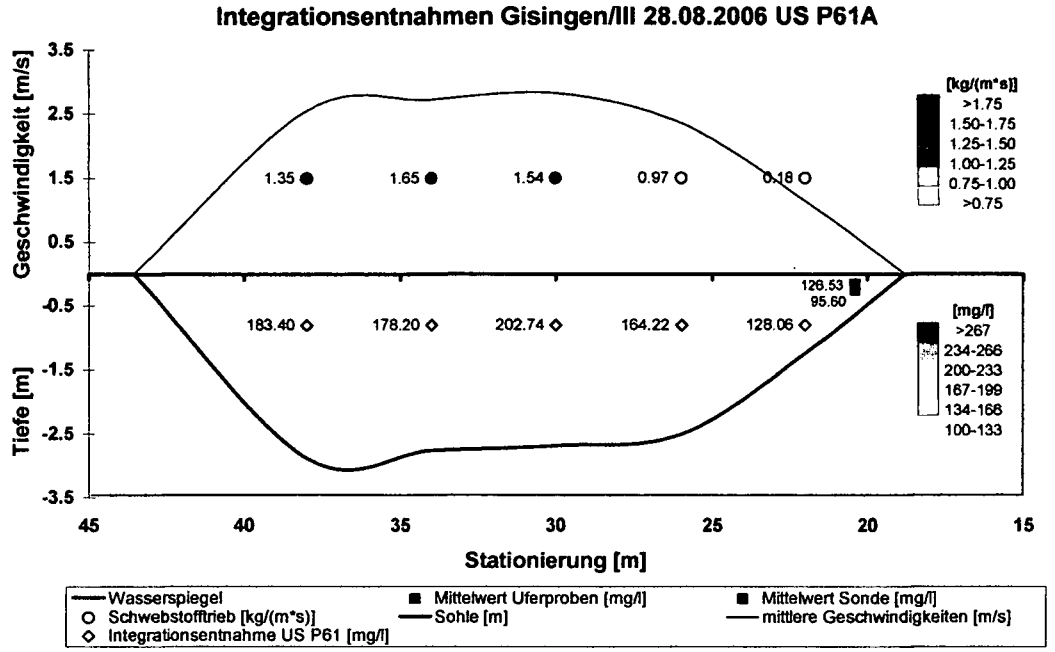


Abbildung 32: Grafische Darstellung der Integrationsentnahme vom 28.08.2006 Gisingen/III

4.1.3.3 Integrationsentnahme vom 30.08.2006

Die Integrationsentnahme vom 30.08.2006 erfolgte bei einem hohen Abfluss mit einem Durchschnittswert von 144,33 m³/s und einem Schwankungsbereich von 141 bis 154 m³/s. Der Wasserstand hielt sich während den Entnahmen in den Lotrechten eins bis vier relativ konstant bei 341 bis 344 cm und stieg bei der letzten Entnahme in der fünften Lotrechte auf 364 cm an. Die Aufzeichnungen der Trübungssonde belaufen sich im Zeitraum 12:39 Uhr (Zeitpunkt der Entnahme in der ersten Lotrechten) bis 14:20 Uhr auf Werte zwischen 295 und 367 mg/l. In den folgenden zehn Minuten, zum Zeitpunkt der letzten Entnahme um 14:30 Uhr in der fünften Lotrechten steigt die Sondenaufzeichnung auf 644 mg/l an.

Abbildung 33 zeigt die Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit den entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme.

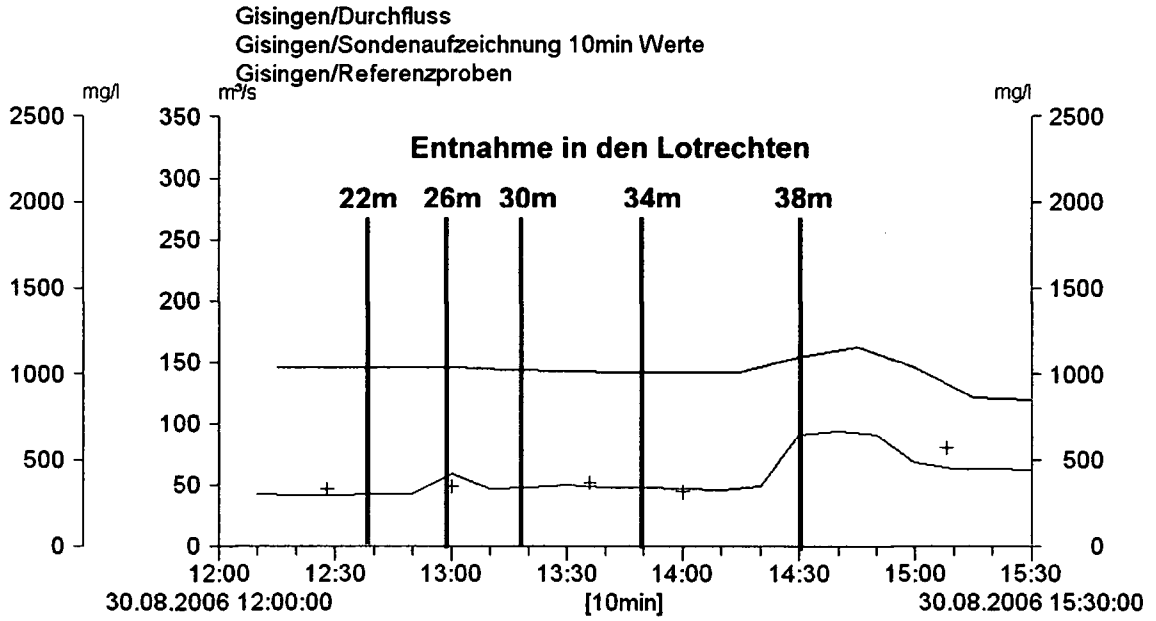


Abbildung 33: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme am 30.08.2006, Gisingen/Ill

Die Schwebstoffgehalte der einzelnen Lotrechten zeigen Werte von 347,89 mg/l in der ersten Lotrechte und 928,31 mg/l in der vierten Lotrechte. Die höchsten Konzentrationen befinden sich in der Gewässermitte, der dritten und vierten Lotrechten. Der Schwebstofftrieb der vierten Lotrechte beträgt 8,52 kg/(m*s). Die minimale mittlere Geschwindigkeit beträgt 1,51 m/s in der ersten Lotrechte und die maximale mittlere Geschwindigkeit beläuft sich auf 3,07 m/s in der vierten Lotrechte.

Die mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil wurde mit 664,6 mg/l bestimmt. Hieraus errechnet sich ein Querprofilbeiwert K_Q (C_m/C_r) von rund 1,72.

Der Schwebstofftransport für den Zeitraum der Integrationsentnahme beträgt 95.92 kg/s.

Abbildung 34 zeigt die Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil in Verbindung mit der mittleren Geschwindigkeit, den Schwebstofftrieb in kg/(m*s) je Lotrechter sowie Mittelwerte der Referenzproben und Sondenwerte.

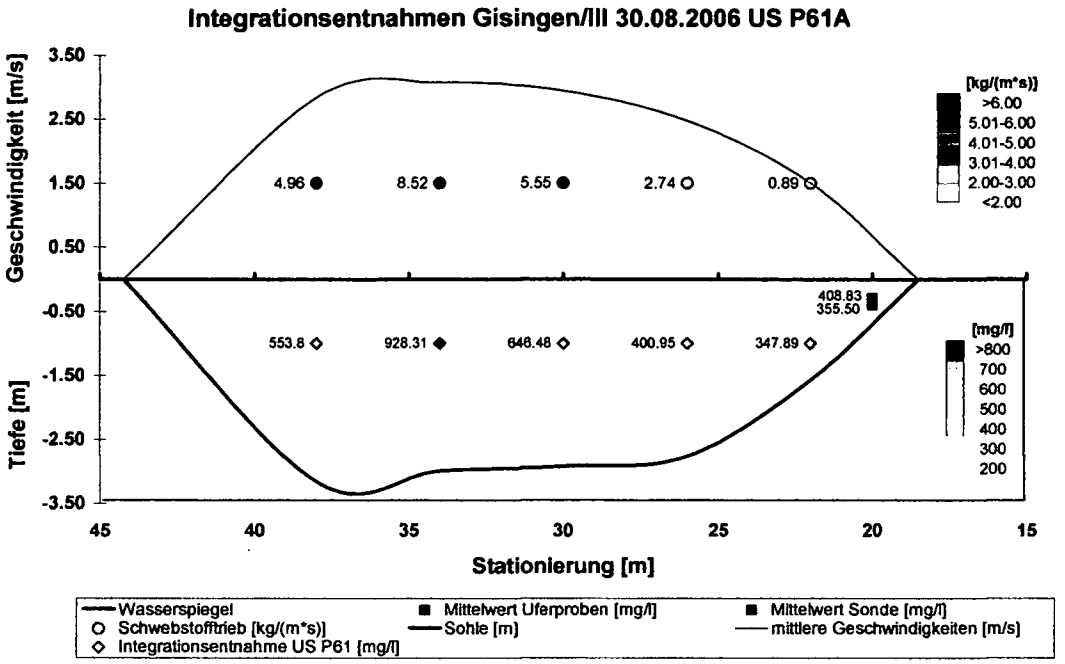


Abbildung 34: Grafische Darstellung der Integrationsentnahme vom 30.08.2006 Gisingen/III

4.1.4 Dauerentnahmen

Insgesamt wurden in Gisingen/Ill vier Dauerentnahmen durchgeführt, um die Referenzprobenanzahl zu erhöhen und um die zeitliche Variabilität des Schwebstoffaufkommens darstellen zu können. Alle vier Dauerentnahmen wurden parallel zu Vielpunkt- und Integrationsentnahmen durch Schöpfgeräte durchgeführt.

4.1.4.1 Dauerentnahme vom 02.08.2006

Am 02.08.2006 wurden im Zeitraum von 11:15 bis 14:45 alle 30 Minuten Referenzproben in Sondennähe mit dem Schöpfgerät entnommen. Die ermittelten Schwebstoffgehalte zeigen Werte von 97,73 bis 116,60 mg/l mit einem Ausreißer von 236,02 mg/l, welcher höchstwahrscheinlich auf Fehler während der Laborauswertung zurückzuführen ist. Die Werte der Sondenaufzeichnung liegen etwas darüber und zeigen einen abnehmenden Verlauf von 143 auf 116 mg/l, der mit den abnehmenden Durchflusswerten gut übereinstimmt.

In Abbildung 35 sind die Schwebstoffgehalte der Schöpfproben zusammen mit den zugehörigen Trübungswerten der Sondenaufzeichnung, den Wasserstands- und Durchflusswerten dargestellt.

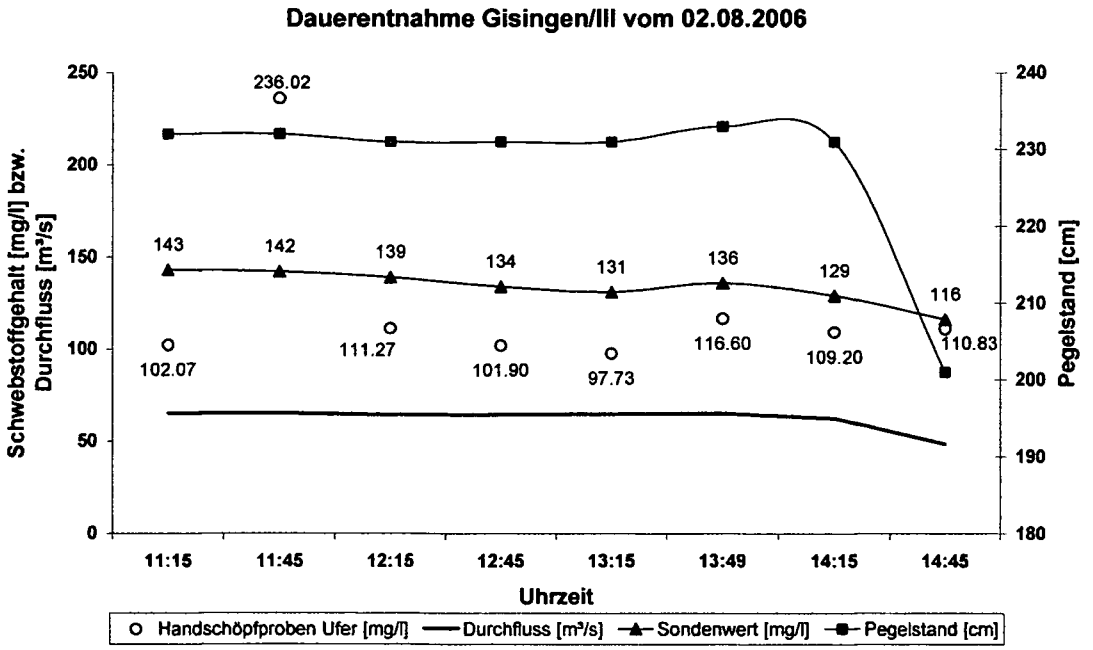


Abbildung 35: Grafische Darstellung der Dauerentnahme vom 02.08.2006 Gisingen/Ill

4.1.4.2 Dauerentnahme vom 11.08.2006

Am 11.08.2006 wurden bei der Messstelle Gisingen/Ill, bei einem niedrigen Wasserstand von 280 bis 296 cm, im Zeitraum von 12:02 bis 15:00 Uhr sieben Referenzproben in Sondennähe im Abstand von 30 Minuten entnommen. Die ermittelten Schwebstoffkonzentrationen zeigen Werte von 84,81 bis 110,46 mg/l und weisen somit eine etwas größere Streuung der zeitgleich abgelesenen Sondenwerte, mit einem Schwankungsbereich von 91 bis 103 mg/l, auf. Weiters liegen die Werte der Schöpfproben teils über, teils unter den Sondenwerten der Trübungsmessung. Durchfluss und Schwebstoffgehalte zeigen im Verlauf eine gering inverse Beziehung.

Abbildung 36 zeigt Wasserstands-, Durchfluss und Trübungswerte der Sondenaufzeichnung mit den entnommenen Handschöpfproben.

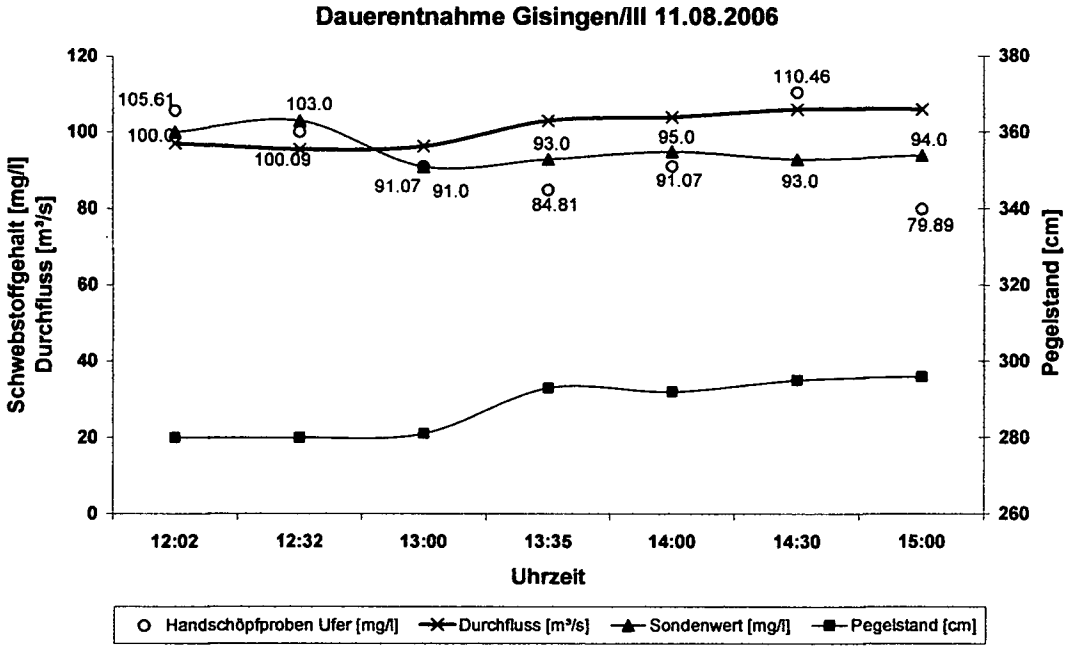


Abbildung 36: Grafische Darstellung der Dauerentnahme vom 11.08.2006 Gisingen/Ill

4.1.4.3 Dauerentnahme vom 28.08.2006

Die Dauerentnahme vom 28.08.2006 umfasst sechs entnommene Referenzproben im Zeitraum 10:46 bis 13:16 Uhr. Die Wasserstandschwankungen während der Entnahme können mit einer maximalen Differenz von 307 auf 309 cm als annähernd konstant betrachtet werden. Die Werte der Handschöpfproben welche in Sondennähe getätigt wurden belaufen sich auf 108,61 bis 156,04 mg/l und liegen etwas über bzw. geringfügig unter den Werten der Sondenaufzeichnung von 110 bis 128 mg/l.

In Abbildung 37 sind die Schwebstoffgehalte der Handschöpfproben sowie die zugehörigen Trübungswerte der Sondenaufzeichnung, der Wasserstand- und die Durchflusswerte dargestellt.

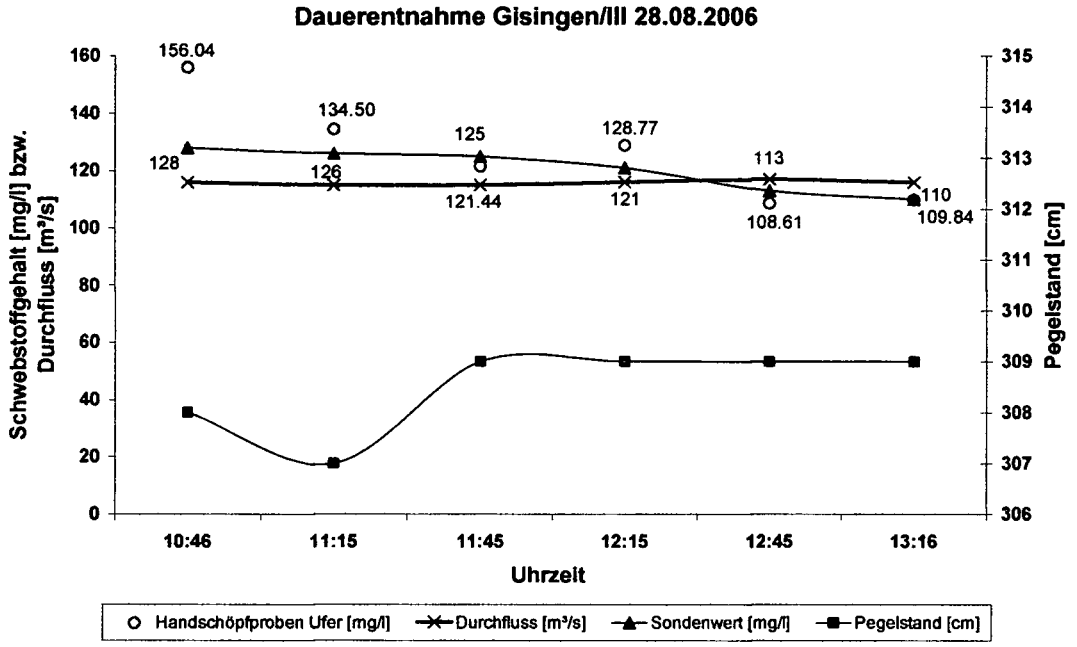


Abbildung 37: Grafische Darstellung der Dauerentnahme vom 28.08.2006 Gisingen/III

4.1.4.4 Dauerentnahme vom 30.08.2006

Am 30.08.2006 waren die Wasserstände aufgrund von zahlreichen Regenereignissen der Tage zuvor sehr hoch und beliefen sich im Zeitraum der Dauerentnahme von 10:24 bis 15:08 Uhr auf 341 bis 364 cm. Die Schwebstoffgehalte der Handschöpfproben liegen mit Konzentrationen von 310,85 bis 583,54 mg/l deutlich über den Werten der Sondenaufzeichnung, 287 bis 552 mg/l, insbesondere um 14:30 Uhr mit einem Referenzprobenwert von 562,96 mg/l und einem Sondenwert von 331 mg/l Die Durchflusswerte sind annähernd konstant.

Abbildung 38 zeigt die Wasserstands-, Durchfluss und Sondenwerte der Trübungsaufzeichnung mit den entnommenen Uferproben.

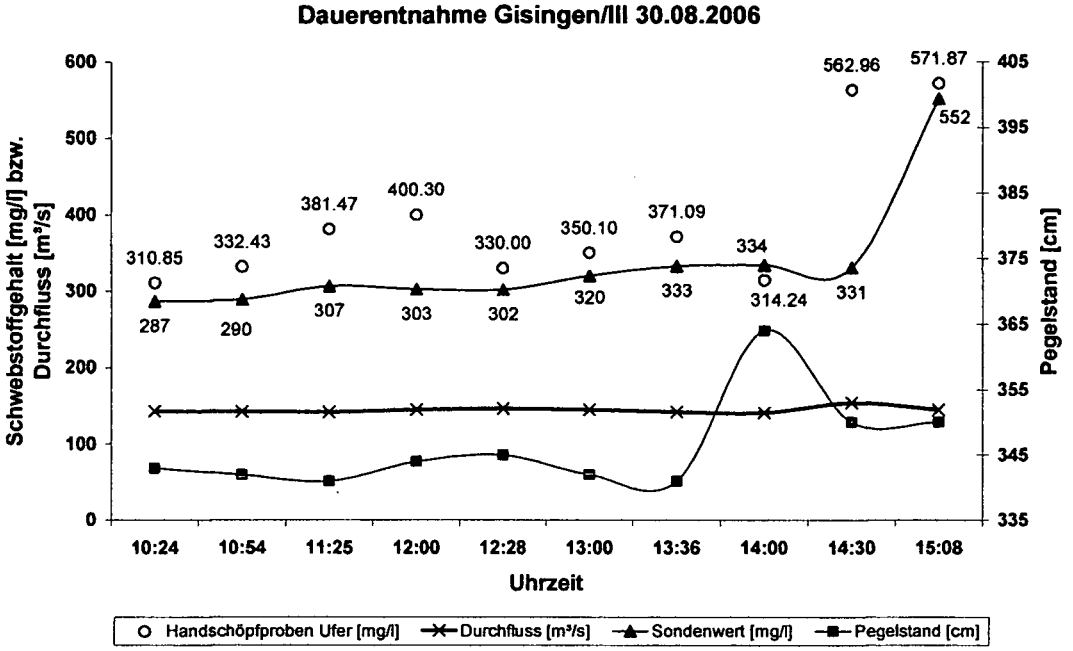


Abbildung 38: Grafische Darstellung der Dauerentnahme vom 30.08.2006 Gisingen/III

4.1.5 Schwebstofftransport und mittlere Schwebstoffgehalte

4.1.6 Korrektur der Trübungsganglinie

In diesem Abschnitt wird die Korrektur der Trübungsganglinie erläutert. Die Kalibrierung und Korrektur erfolgte durch die Aufstellung einer empirischen Beziehung zwischen den Sondenwerten der Trübungsmessung und den Schwebstoffgehalten der Referenzproben, sowie Querprofilbeiwerten K_Q.

4.1.6.1 Kalibrierung der Sondenwerte der Trübungsmessung

Zur Kalibrierung der Sondenwerte der Trübungsmessung zu tatsächlichen Schwebstoffkonzentrationen wurde eine Beziehung der Werte selbiger und den Werten der Schwebstoffgehalte der Referenzproben aufgestellt. Die Bestimmung einer linearen Ausgleichsgeraden ergab eine sehr gute Übereinstimmung mit einem Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,92 - Abbildung 39.

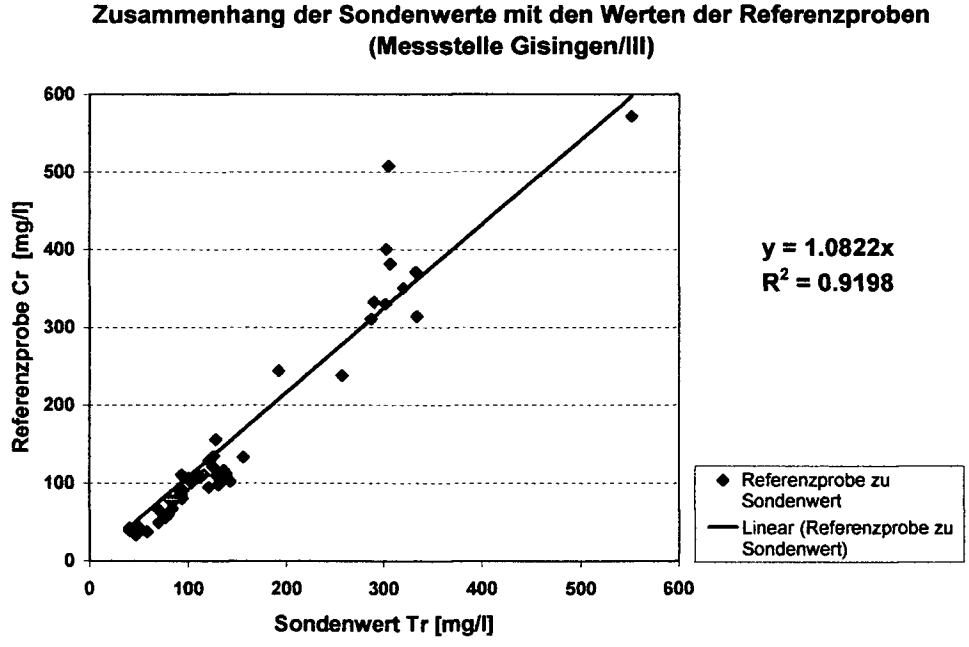


Abbildung 39: Linearer Zusammenhang der Sondenwerte mit den Werten der Referenzproben (Messstelle Gisingen/Ill)

Bei Berechnung der Referenzprobenwerte anhand dieser linearen Funktion ergeben sich im Vergleich zu den Schwebstoffkonzentrationen der tatsächlich entnommenen Referenzproben im Normalfall bei niedrigen Abflüssen eine leichte Überschätzung und bei hohen Abflüssen eine leichte Unterschätzung des Schwebstoffgehaltes – vergleiche Abbildung 40 und Abbildung 41.

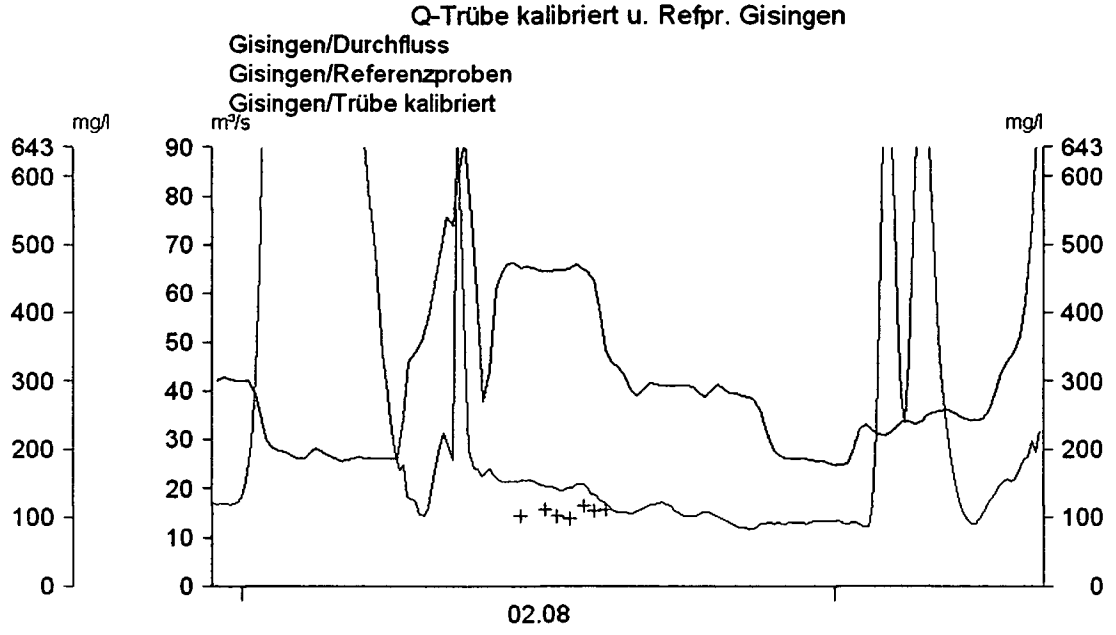


Abbildung 40: Durchfluss-, kalibrierte Trübungsganglinie und Referenzproben der Messstelle Gisingen/ Ill bei Q um 65 m³/s

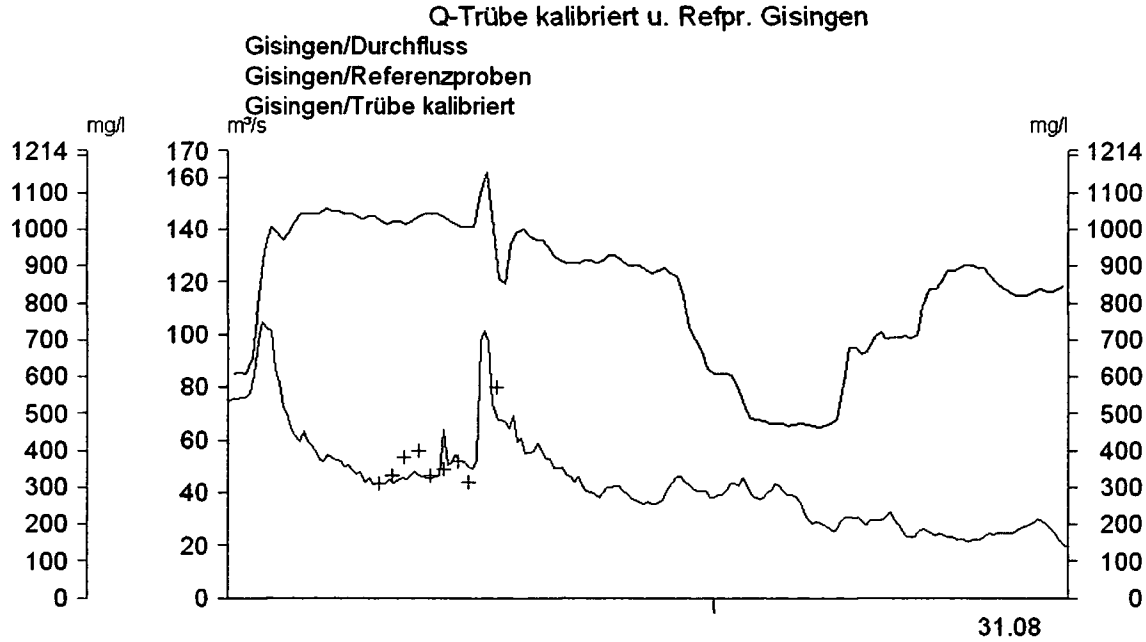


Abbildung 41: Durchfluss-, kalibrierte Trübungsganglinie und Referenzproben der Messstelle Gisingen/Ill bei Q um 145 m³/s

Die Gleichung y=1,0882*x wurde zur Korrektur der Sondenwerte verwendet.

4.1.6.2 Ermittlung der Querprofilbeiwerte K_Q

Im ersten Schritt werden die Querprofilbeiwerte K_Q aus den mittleren Schwebstoffgehalten C_m im Querprofil der vier Vielpunktentnahmen und den zugehörigen Schwebstoffgehalten der Referenzproben - ersichtlich in Tabelle 5- bestimmt.

Tabelle 5: Mittlere Schwebstoffgehalte der Vielpunktentnahmen C_m VP, Schwebstoffgehalte der zugehörigen Referenzproben C_r und K_Q-Faktoren mit den jeweiligen Abflüssen Q, Gisingen/Ill

Datum	Cm VP [mg/l]	Cr [mg/l]	KQ VP	Q [m³/s]
02.08.2006	105.77	107.92	**0.98**	62.2
11.08.2006	98.32	91.56	**1.07**	105
28.08.2006	156.91	117.17	**1.34**	116.14
30.08.2006	422.37	341.36	**1.24**	143.44

Im zweiten Schritt wird ein Zusammenhang - Abbildung 42 - zwischen den K_Q-Faktoren und dem Durchfluss aufgestellt. Dieser ist in Abbildung 39 als gestrichelte Linie dargestellt, da die Funktion y= 0,0037*x + 0,7621 mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,6 aufgrund der geringen Anzahl von Messungen nur eine vorläufige Annahme darstellen kann.

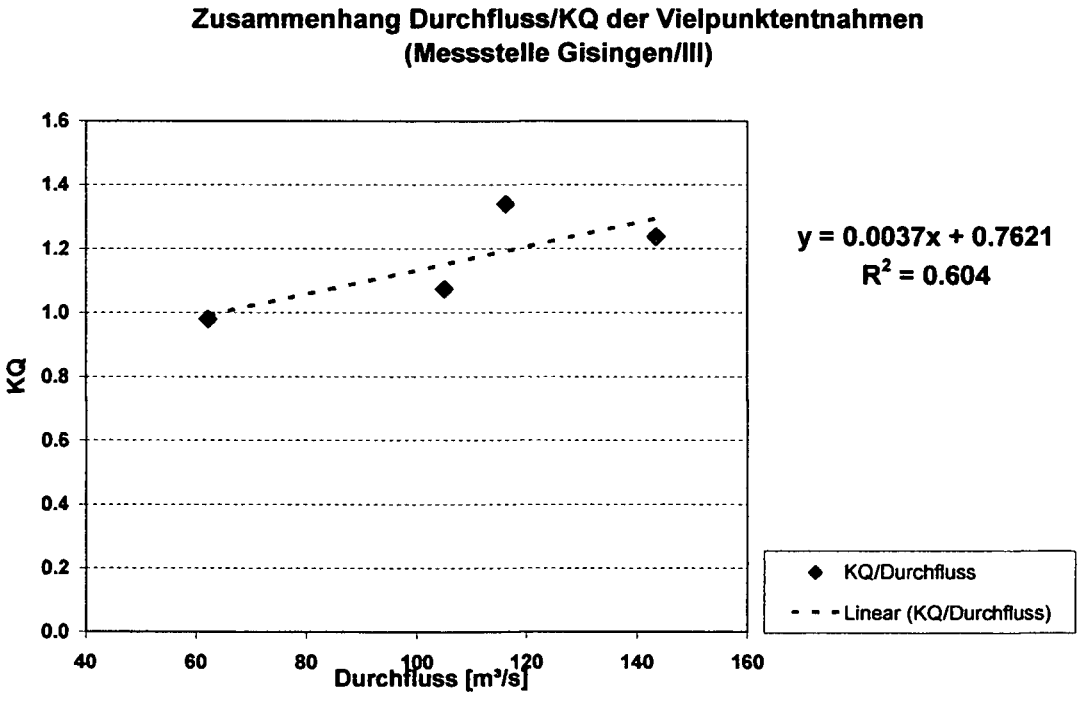


Abbildung 42: Zusammenhang Durchfluss zu K_Q-Faktoren (Messstelle Gisingen/Ill)

4.1.7 Frachtberechnung

Die Schwebstofffrachten wurden aus der kalibrierten und der K_Q-Korrektur unterzogenen Schwebstoffganglinie - Abbildung 43 - berechnet. Die Sondenwerte der Trübungsaufzeichnung wurden anhand des linearen Zusammenhangs der Trübungswerte zu den Referenzprobenwerten in ufernahe Schwebstoffgehalte von Referenzproben umgerechnet. Die Korrektur zu mittleren Schwebstoffgehalten erfolgte durch die, aus den Durchflusswerten berechneten K_Q-Faktoren.

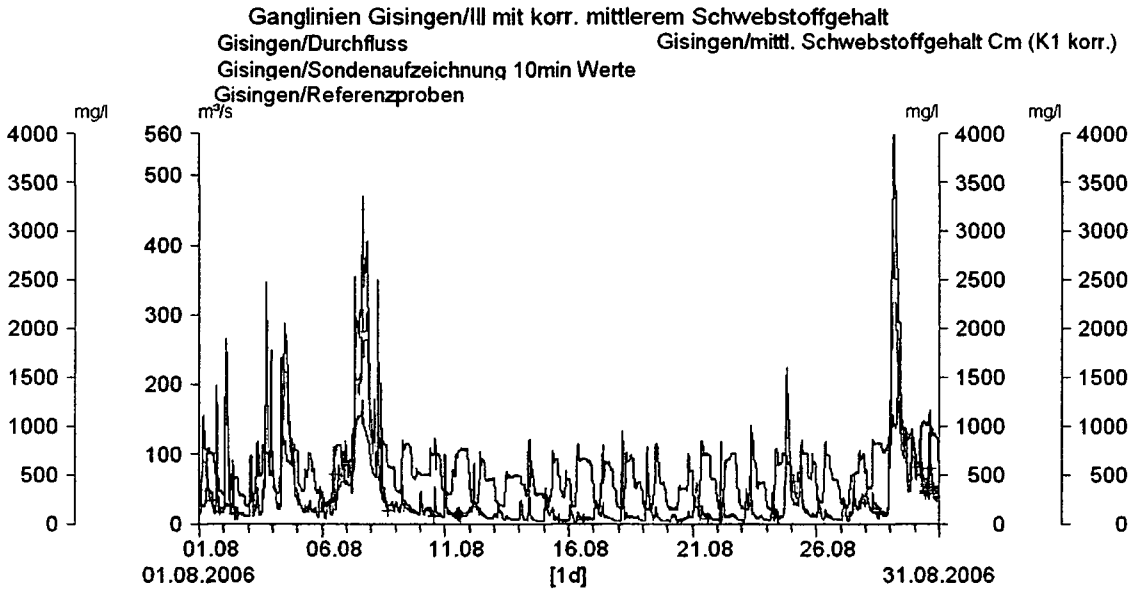


Abbildung 43: Durchfluss und Trübungsganglinie mit entnommenen Referenzproben und korrigierter Schwebstoffganglinie Gisingen/Ill für den Monat August 2006

Die vorgenommene Korrekturmethode zeigt im Mittelwasserbereich eine recht gute Anpassung an die Trübungsganglinie der Sondenaufzeichnung. Die Trübe wurde etwas nach oben korrigiert. Im gesamten Messzeitraum ereignete sich kein Hochwasser und es stehen daher keine Daten mit deutlich erhöhtem Abfluss zur Verfügung.

Die Schwebstofffracht für den Messzeitraum 10. Juli bis 11. September beträgt somit rund 110 592 t, und für den Monat August 84.188 t (Tabelle 6).

Tabelle 6: Schwebstofffrachten im Sommer 2006 Gisingen/Ill

Zeitraum	Schwebstofffracht [t]
10.07. - 11.09.2006	**110 592**
01. - 31.08.2006	**84 188**

4.1.8 Weitere Ergebnisse

4.1.8.1 Vergleich der Handschöpfproben

Die Entnahme von zwei Referenzproben pro Visite ist die, vom Hydrografischen Dienst Vorarlberg üblicherweise angewandte Methode zur direkten Schwebstoffmessung. Im Zuge der Diplomarbeit wurden ebenfalls, je zwei Schwebstoffproben in kurzmöglichsten Abständen mithilfe des Schöpfgerätes entnommen, dies erfolgte insgesamt 15mal. Bei den Referenzprobenentnahmen während den Vielpunkt- und Integrationsentnahmen erfolgte die Auswertung mittels einfacher Entnahme.
Beim Vergleich der Schwebstoffgehalte der ersten und zweiten Handschöpfprobe und Bestimmung einer linearen Ausgleichsgeraden - Abbildung 44 - zeigt sich eine relativ geringe Abweichung von 0,99 bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,98.

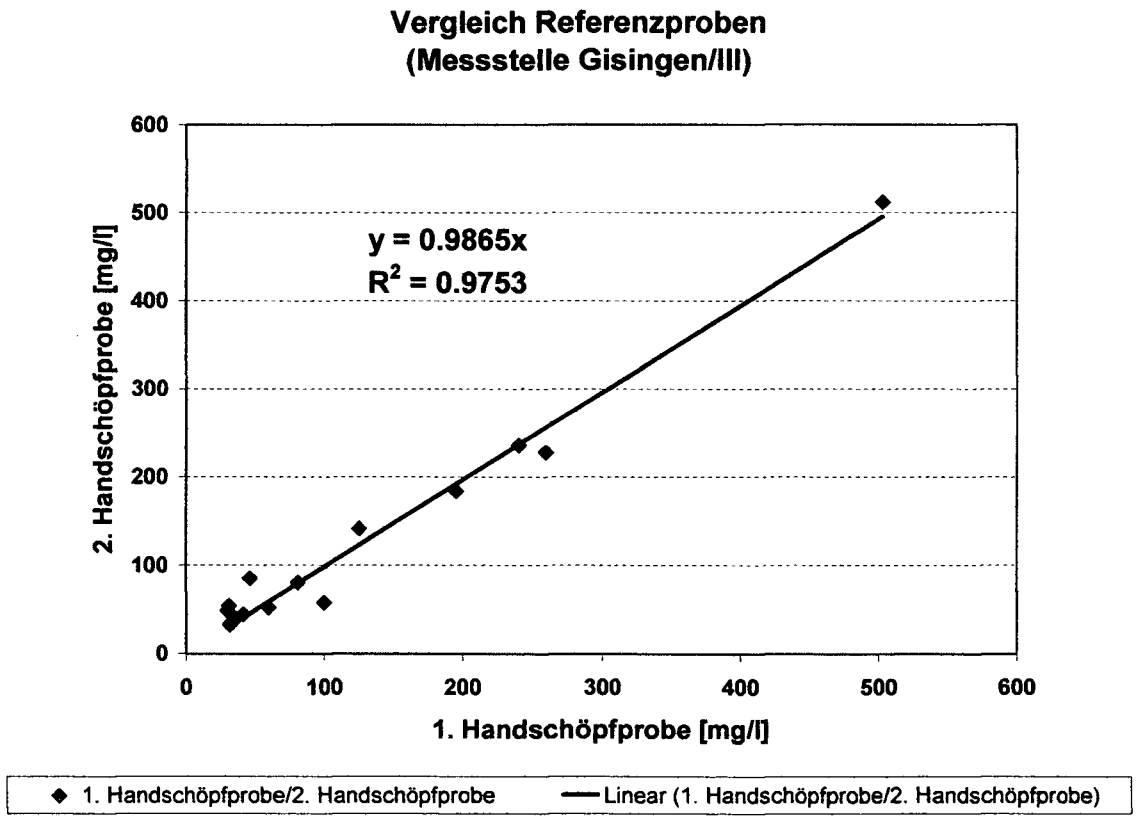


Abbildung 44: Vergleich der 1. und 2. Handschöpfprobe bei der Messstelle Gisingen/Ill

Für die Auswertungen und Angleichung der Sondenwerte der Trübungsganglinie an ufernahe Referenzprobenwerte wurde stets der Mittelwert von erster und zweiter Handschöpfprobe herangezogen.

4.2 Lustenau/Rhein

4.2.1 Trübungsganglinien und sondennahe Referenzproben

Die Trübungssonde Solitax ts-line® wurde am 16. Juli 2006 vom Hydrografischen Dienst Vorarlberg bei der Messstelle Lustenau- alte Eisenbahnbrücke/Rhein eingebaut. Sie lieferte in den folgenden Monaten bei Abflüssen größer 120 m³/s kontinuierlich brauchbare Werte. Bei kleineren Abflüssen befindet sich die Sonde über dem Wasserspiegel und zeichnet Luftwerte auf. Somit wurden die Werte insofern korrigiert als dass bei Abflüssen kleiner 120 m³/s die Sondenaufzeichnung 35 mg/l ist - Abbildung 46. Dieser Wert ergibt sich aus der Mittelung der brauchbaren Aufzeichnungen der Trübungssonde bei geringfügig höherem Abfluss und stellt einen theoretischen Wert dar, da – vergleiche hierzu Kapitel 5.1.1 und Kapitel 5.2.2 – die Untersuchungen an Ill und Rhein aufzeigten, dass kein direkter Zusammenhang zwischen Schwebstoffkonzentration und Durchfluss besteht. Sondennahe Referenzproben wurden von der Brücke, anfangs mit Hilfe eines Eimers, dann mittels eines, von der Verfasserin, entworfenen und konstruierten „Ein-Flaschen-Entnahmegerätes" – Abbildung 45 - entnommen. Eine Auflistung aller Referenzproben ist im Anhang (Seite 94) zu finden.

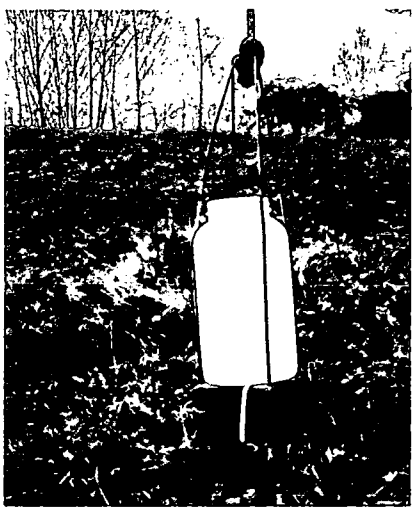


Abbildung 45: „Ein-Flaschen-Entnahmegerät"

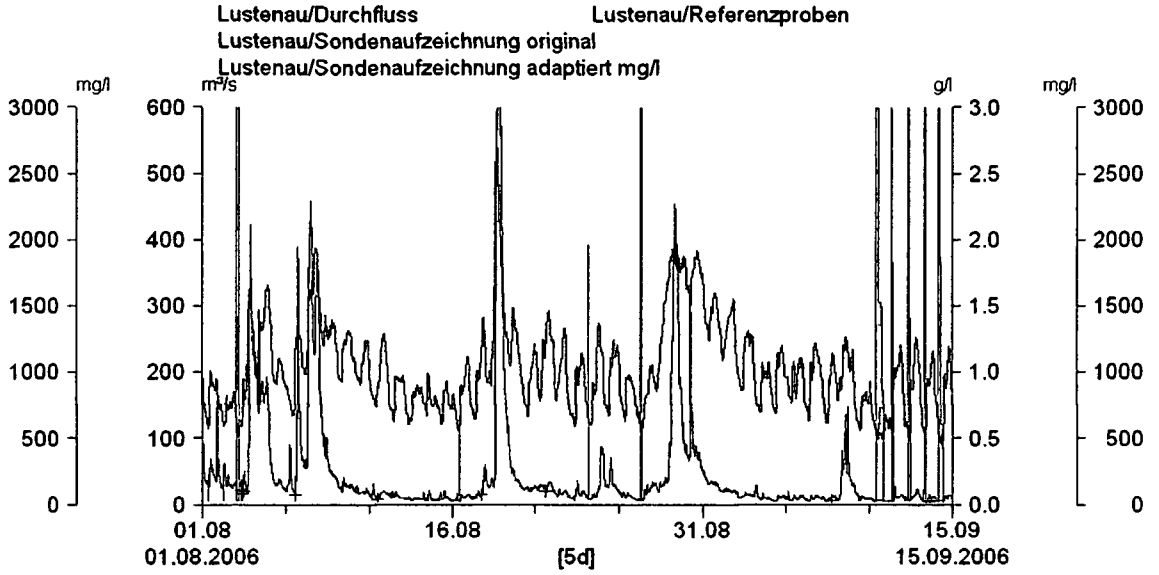


Abbildung 46: Durchflussganglinie sowie originaler und adaptierter Sondenaufzeichnung mit entnommenen Referenzproben Lustenau/Rhein

4.2.2 Vielpunktentnahmen

Die zwei Vielpunktentnahmen wurden in Lustenau/Rhein ebenfalls mit Hilfe des US-P61A Suspended Sediment Sampler durchgeführt. Im folgenden Kapitel werden diese genau erläutert und grafisch dargestellt.

4.2.2.1 Vielpunktentnahme vom 03.08.2006

Diese Vielpunktentnahme wurde bei Niedrigwasser, bei ansteigendem Wasserstand von 537 auf 570 cm und ansteigendem Durchfluss von 126 auf 165 m³/s, durchgeführt. Der Durchschnittstrübungswert der Sonde beträgt im Entnahmezeitraum von 09:20 bis 10:43 Uhr, 129,88 mg/l mit Schwankungen von 114,75 bis 165,04 mg/l.

In Abbildung 47 sind die Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit den entnommenen Referenzproben ersichtlich.

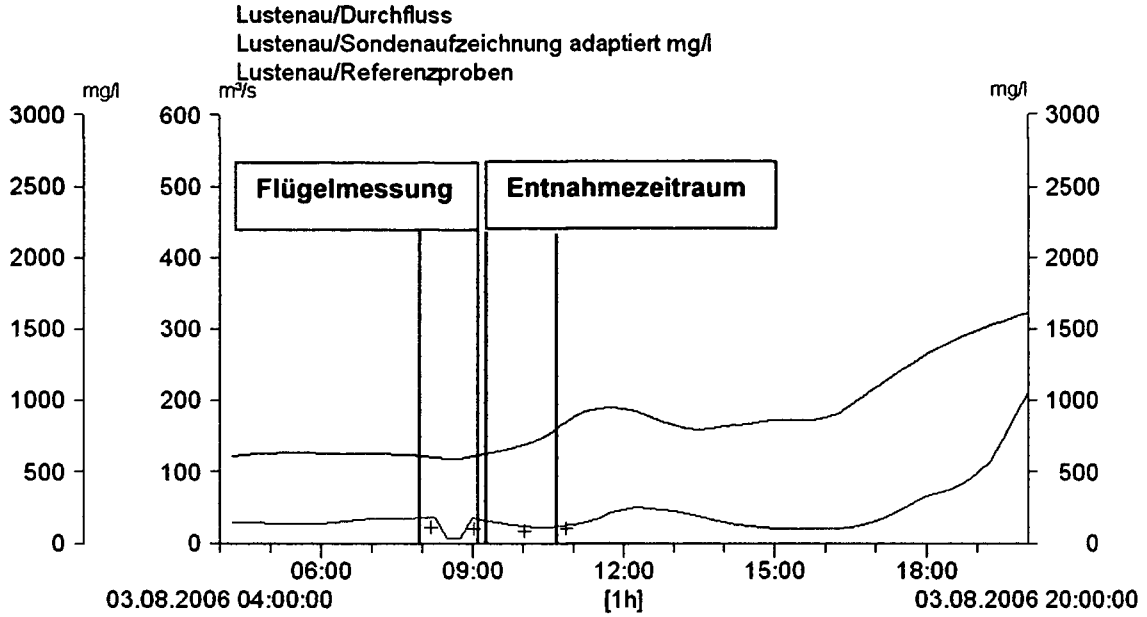


Abbildung 47: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Vielpunktentnahme am 03.08.2006, Lustenau/Rhein

Die Vielpunktentnahme vom 3. August umfasst fünf Lotrechte mit je fünf Tiefenstufen. Nach erfolgter Probenentnahme in der fünften Tiefenstufe (0,95*h) wurde in jeder Lotrechten jeweils auch eine Integrationsentnahme (siehe Kapitel 4.1.3) durchgeführt. Die Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten in den Entnahmepunkten erfolgte durch eine vorausgehende Flügelmessung.

Die Schwebstoffgehalte in den Entnahmepunkten schwanken zwischen 36,80 bis 106,76 mg/l. Eine Zunahme der Schwebstoffkonzentrationen von der Wasseroberfläche zur Gewässersohle kann in drei der fünf Lotrechten erkannt werden. Eine Zunahme des Schwebstofftriebes zur Gewässermitte ist klar ersichtlich. Mit 308,09 g/(m*s) ist der Schwebstofftrieb, der in Gewässermitte befindlichen Lotrechten am höchsten. Der Mittelwert der Fließgeschwindigkeiten in den drei untersten Entnahmepunkten beträgt 1,10 m/s. Die mittlere Fließgeschwindigkeit in den obersten Entnahmepunkten beläuft sich auf 1,41 m/s.

Als mittlere Schwebstoffkonzentration C_m im Querprofil wurden 77,09 mg/l bestimmt. Der mittlere Schwebstoffgehalt der während der Vielpunktentnahme gewonnenen sondennahen Referenzproben C_r beträgt 95,68 mg/l. Daraus errechnet sich ein Querprofilbeiwert K_Q (C_m/C_r) von rund 0,81.

Der Schwebstofftransport für den Messzeitraum beträgt 10,85 kg/s.

Abbildung 48 zeigt die Verteilung der Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil in Verbindung mit der mittleren Geschwindigkeit, den Schwebstofftrieb in g/(m*s) je Lotrechter sowie Mittelwerte der Referenzproben und Sondenwerte.

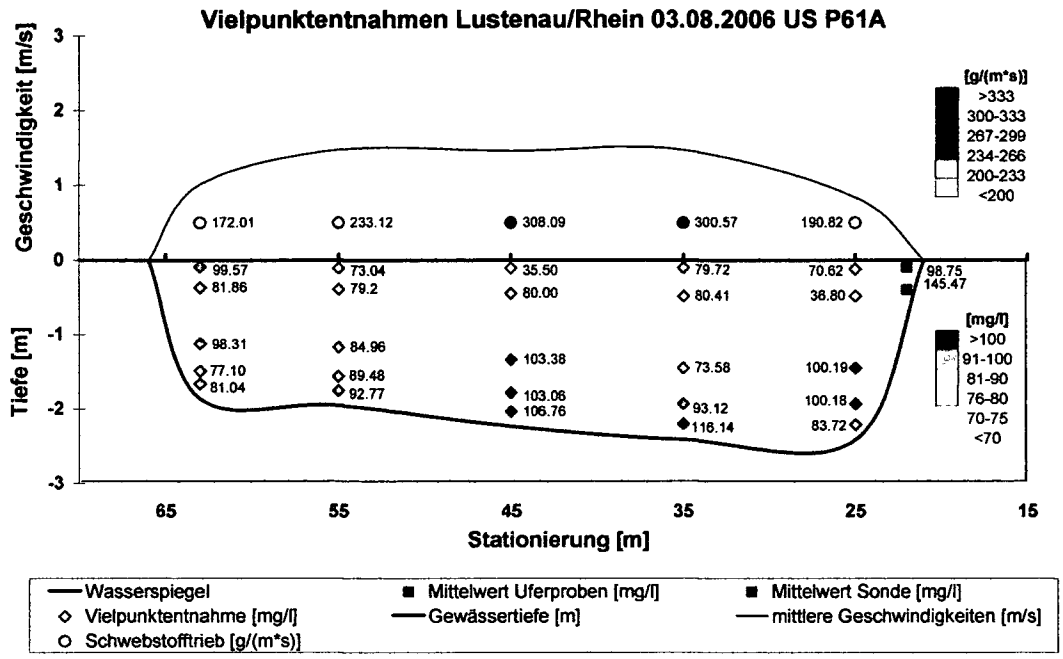


Abbildung 48: Grafische Darstellung der Vielpunktentnahme vom 03.08.2006 Lustenau/Rhein

4.2.2.2 Vielpunktentnahme vom 13.09.2006

Die Vielpunktentnahme vom 13.09. 2006 wurde zwischen 14:05 und 15:09 Uhr bei Niederwasser mit einem durchschnittlichen Abfluss von 181,5 m³/s und einem Trübungswert um 45,05 mg/l durchgeführt. Der Wasserstand betrug 583 bis 585 cm.

In Abbildung 49 sind die Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit den entnommenen Referenzproben ersichtlich.

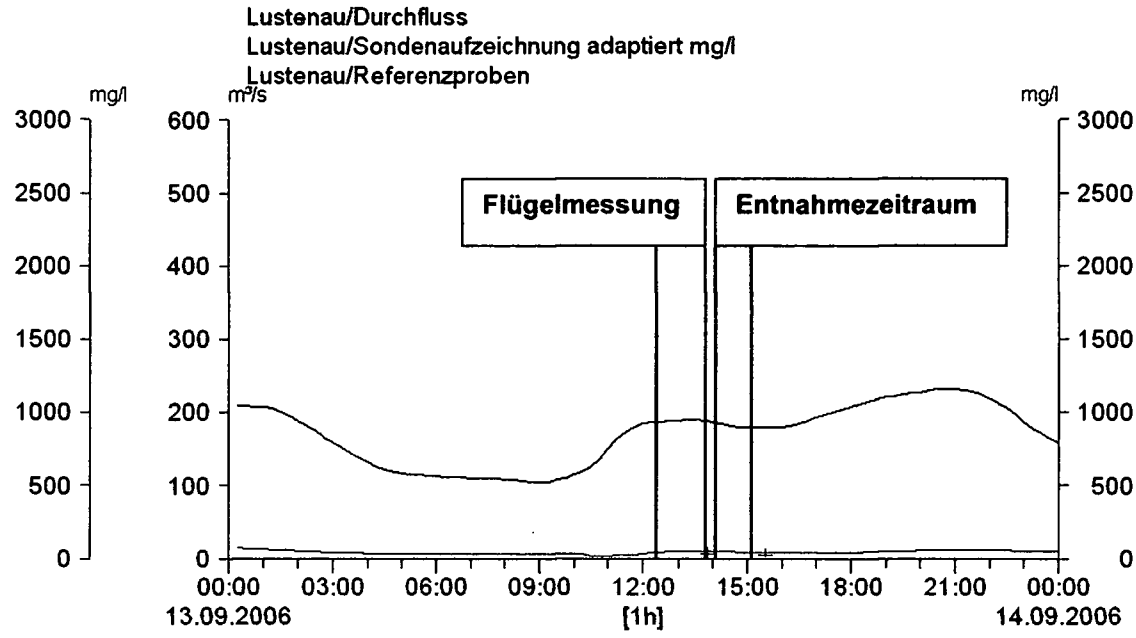


Abbildung 49: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Vielpunktentnahme am 13.09.2006, Lustenau/Rhein

Die Vielpunktentnahme erfolgte in fünf Lotrechten mit je fünf Tiefenstufen. Nach erfolgter Probenentnahme in der letzten Tiefenstufe (0,95*h), wurde jeweils eine Integrationsentnahme durchgeführt (siehe Kapitel 4.1.3). Die Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten in den Entnahmepunkten erfolgte durch eine vorausgehende Flügelmessung.

Die Schwebstoffgehalte in den Entnahmepunkten schwanken zwischen 29,41 mg/l im obersten Entnahmepunkt (0,05*h) der fünften Lotrechte (63 m vom Nullpunkt) und 48,63 mg/l im untersten Entnahmepunkt (0,95*h) der mittleren Lotrechte (45 m vom Nullpunkt). Eine Zunahme der Schwebstoffkonzentration vom Wasserspiegel zur Gewässersohle kann in allen fünf Lotrechten erkannt werden. Den höchsten Schwebstofftrieb in g/(m*s) verzeichnen die zweite Lotrechte mit 216,8 und die dritte Lotrechte mit 180,14 g/(m*s). Der Mittelwert der Fließgeschwindigkeiten beträgt in den untersten drei Entnahmepunkten 1,42 m/s und in den zwei obersten Entnahmepunkten der fünf Lotrechten 1,97 m/s.

Als mittlere Schwebstoffkonzentration C_m im Querprofil wurden 39,66 mg/l bestimmt. Während der Vielpunktentnahme war es aufgrund von Personalmangel nicht möglich, bei der rund 550 m flussabwärts liegender Trübungssonde Referenzproben zu entnehmen. Referenzproben konnten aber vor und nach Beendigung der Vielpunktentnahme entnommen werden. Der mittlere Schwebstoffgehalt dieser

sondennahen Referenzproben C_r beträgt 31,65 mg/l. Daraus errechnet sich ein Querprofilbeiwert K_Q (C_m/C_r) von rund 1,25.

Der Schwebstofftransport für den Messzeitraum beträgt 7,20 kg/s.

Abbildung 50 zeigt die Verteilung der Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil in Verbindung mit der mittleren Geschwindigkeit, den Schwebstofftrieb in g/(m*s) je Lotrechter sowie Mittelwerte der Referenzproben und Sondenwerte.

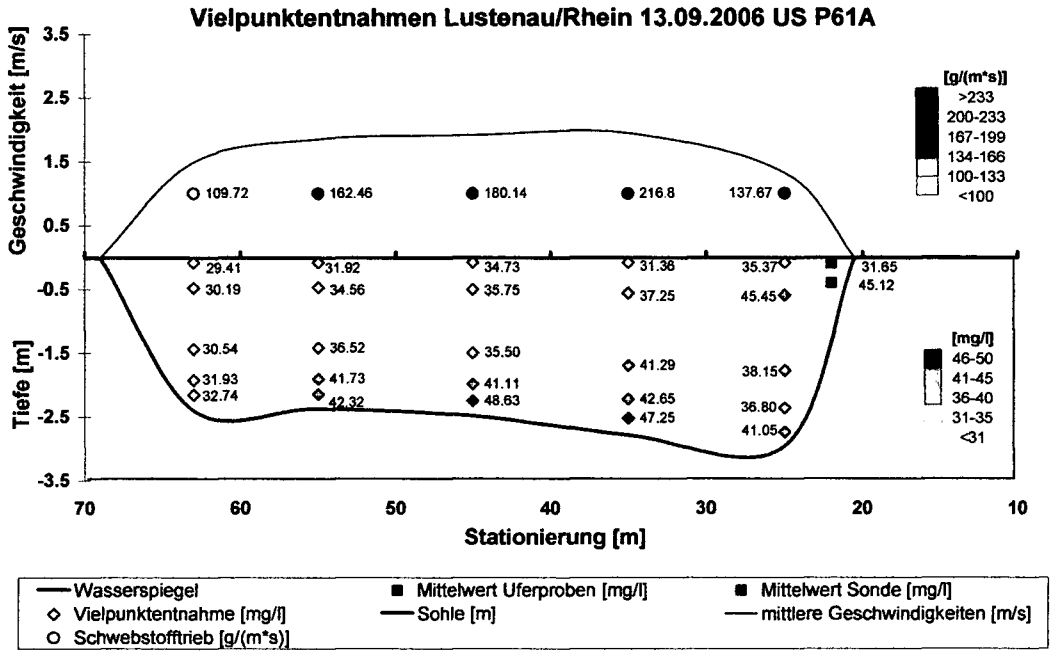


Abbildung 50: Grafische Darstellung der Vielpunktentnahme vom 13.09.2006 Lustenau/Rhein

4.2.3 Integrationsentnahmen

An der Messstelle Lustenau /Rhein wurden insgesamt zwei Integrationsentnahmen, jeweils in Verbindung mit den Vielpunktentnahmen durchgeführt. Als Entnahmegerät stand der US P61A Suspended Sediment Sampler zur Verfügung.

4.2.3.1 Integrationsentnahme vom 03.08.2006

Die Integrationsentnahme vom 03.08.2006 wurde während der Vielpunktentnahme um 09:37 Uhr in der ersten Lotrechten, um 09:53 Uhr in der zweiten Lotrechten, um 10:12 Uhr in der dritten Lotrechten, um 10:27 Uhr in der vierten Lotrechten und um 10:43 Uhr in der fünften Lotrechten durchgeführt. Die Durchschnittswerte im Entnahmezeitraum betrugen 143,17 m³/s (Schwankungen von 129 bis 165 m³/s) für den Abfluss und

124,45 mg/l (Schwankungsbereich 114,75 bis 147,46 mg/l) für den Sondenwert der Trübungsanzeige.

Abbildung 51 zeigt die Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit den entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme.

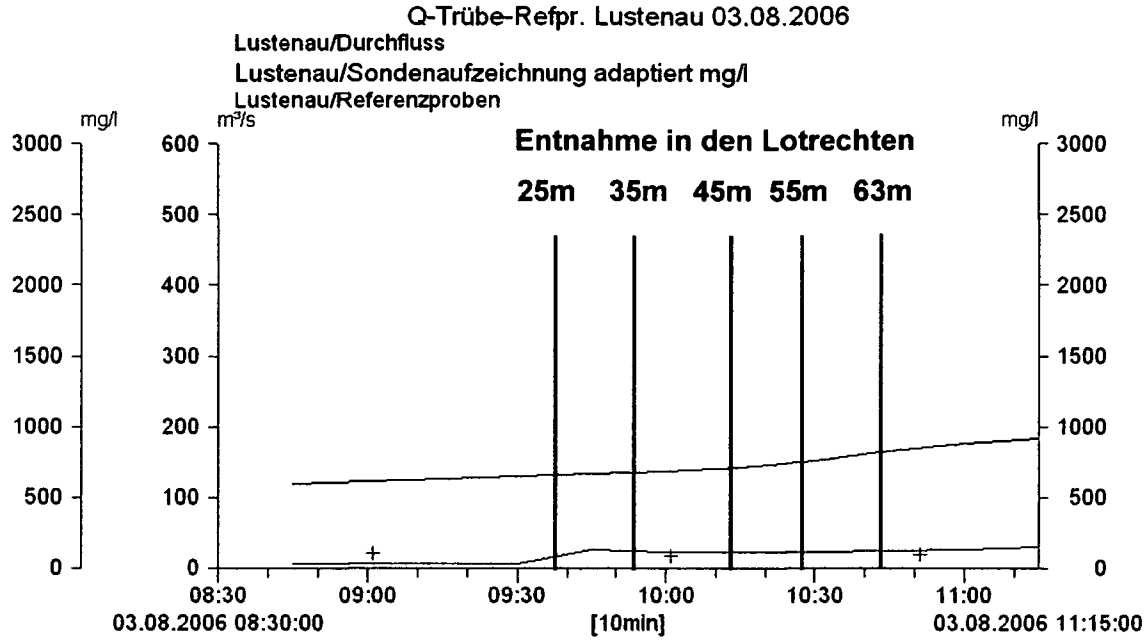


Abbildung 51: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme am 03.08.2006, Lustenau/Rhein

Der niedrigste Schwebstoffgehalt im Querprofil befindet sich in der fünften Lotrechten (63 m vom Nullpunkt) mit 90,00 mg/l und die höchste Konzentration weist die erste Lotrechte (25 m vom Nullpunkt) mit 107.88 mg/l auf. Die mittleren Geschwindigkeiten liegen zwischen 0,84 m/s in der ersten Lotrechten und 1,48 m/s in der vierten Lotrechten.

Die mittlere Schwebstoffkonzentration C_m beträgt 77,27 mg/l. Der errechnete Querprofilbeiwert K_Q (C_m/C_r) beträgt rund 0,91.

Der berechnete Schwebstofftransport im Entnahmezeitraum beträgt in etwa 11,06 kg/s.

Abbildung 52 zeigt die Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil in Verbindung mit der mittleren Fließgeschwindigkeit, den Schwebstofftrieb in g/(m*s) je Lotrechter sowie die Mittelwerte der Referenzproben und Sondenwerte.

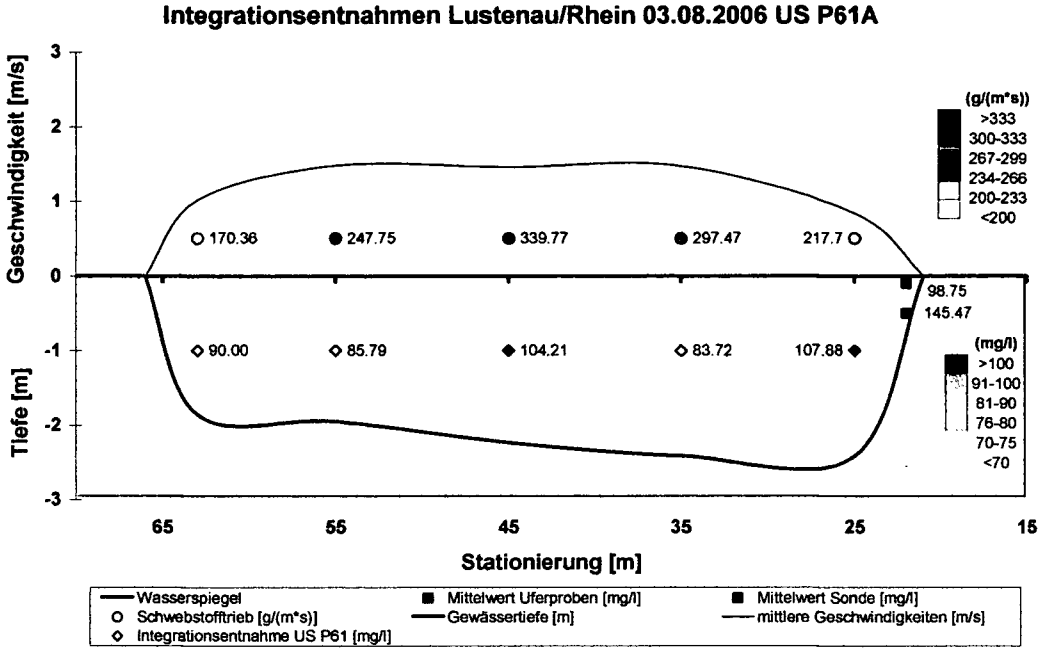


Abbildung 52: Grafische Darstellung der Integrationsentnahme vom 03.08.2006 Lustenau/Rhein

4.2.3.2 Integrationsentnahme vom 13.09.2006

Diese Integrationsentnahme erfolgte am 13.09.2006 um 14:17 Uhr in der ersten Lotrechten, um 14:32 Uhr in der zweiten Lotrechten, um 14:46 Uhr in der dritten Lotrechten, um 15:00 in der vierten Lotrechten und um 15:12 in der fünften Lotrechten. Während dieses Zeitraumes schwankte der Abfluss nur leicht von 184 bis 179 m³/s. Die Werte der Trübungssonde verhielten sich annähernd konstant zwischen 47,3 und 41,8 mg/l.

Abbildung 53 zeigt die Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit den entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme.

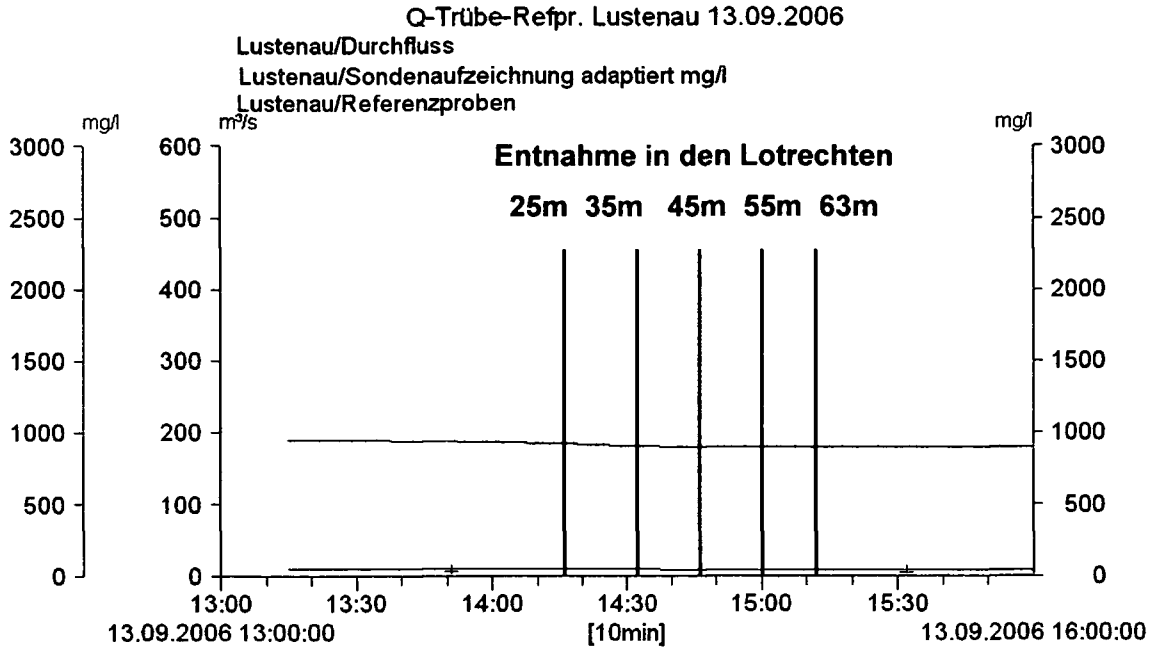


Abbildung 53: Abfluss- und Trübungsverhältnisse mit entnommenen Referenzproben während der Integrationsentnahme am 13.09.2006, Lustenau/Rhein

Die Schwebstoffkonzentrationen der Lotrechten liegen zwischen 30,00 mg/l in der fünften Lotrechte und 176,13 mg/l in der zweiten Lotrechte. Die maximale mittlere Fließgeschwindigkeit weist ebenfalls die zweite Lotrechte mit 1,95 m/s auf. Die minimale mittlere Fließgeschwindigkeit befindet sich in der ersten Lotrechte mit 1,33 m/s.

Die mittlere Schwebstoffkonzentration C_m im Querprofil beträgt 36,03 mg/l. Referenzproben konnten nur vor und nach Beendigung der Integrationsentnahme getätigt werden (vgl. Vielpunktentnahme vom 13.09.2006, Kapitel 4.2.2.2). Der ermittelte Querprofilbeiwert K_Q (C_m/C_r) beträgt rund 1,14.

Der berechnete Schwebstofftransport im Entnahmezeitraum beträgt in etwa 6,51 kg/s.

Abbildung 54 zeigt die Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil in Verbindung mit der mittleren Fließgeschwindigkeit, den Schwebstofftrieb in g/(m*s) je Lotrechter sowie, die Mittelwerte der Referenzproben und Sondenwerte.

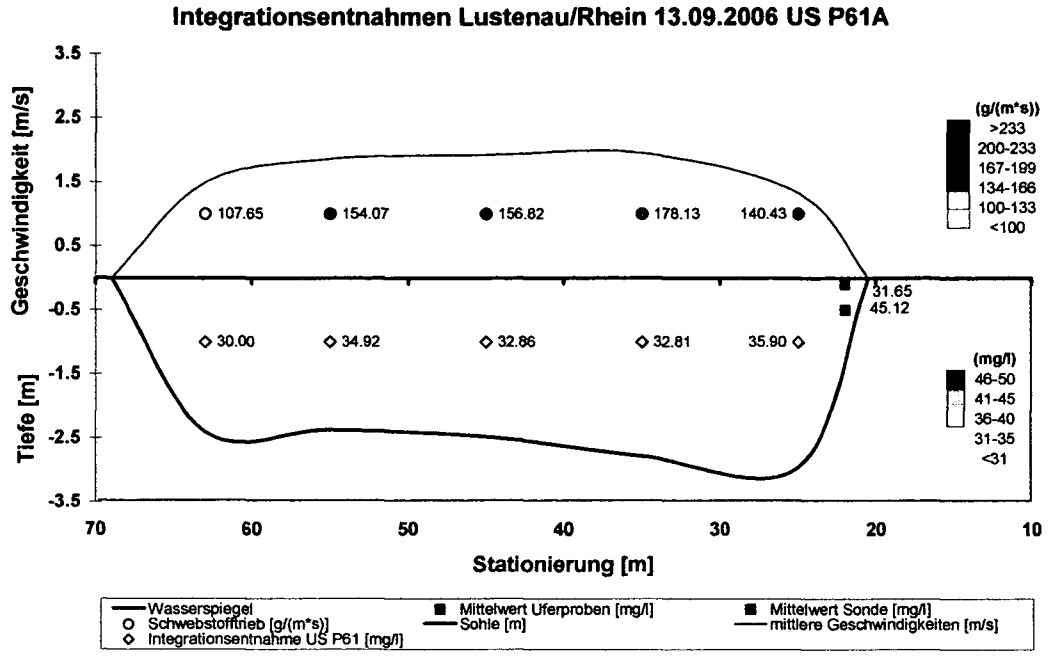


Abbildung 54: Grafische Darstellung der Integrationsentnahme vom 13.09.2006 Lustenau/Rhein

4.2.4 Korrektur der Trübungsganglinie

Anhand eines linearen Zusammenhanges zwischen Trübungs- und Referenzprobenwerten wurde die Trübungsganglinie den Schwebstoffkonzentrationen angeglichen.

4.2.4.1 Kalibrierung der Sondenwerte

Wie bei der Messstelle Gisingen/Ill, so wurde auch in Lustenau/Rhein eine empirische Beziehung zwischen den Sondenwerten und den Schwebstoffgehalten der ufernahen Referenzproben zur Kalibrierung der Trübungsganglinie herangezogen. Die Bestimmung einer linearen Ausgleichsgeraden ergab eine weniger gute Übereinstimmung als bei der Messstelle Gisingen/Ill, mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,79 - Abbildung 55. Als vorläufige Annahme wurde dennoch die Gleichung y=0,58*x+14,812 zur Kalibrierung der Sondenwerte herangezogen.

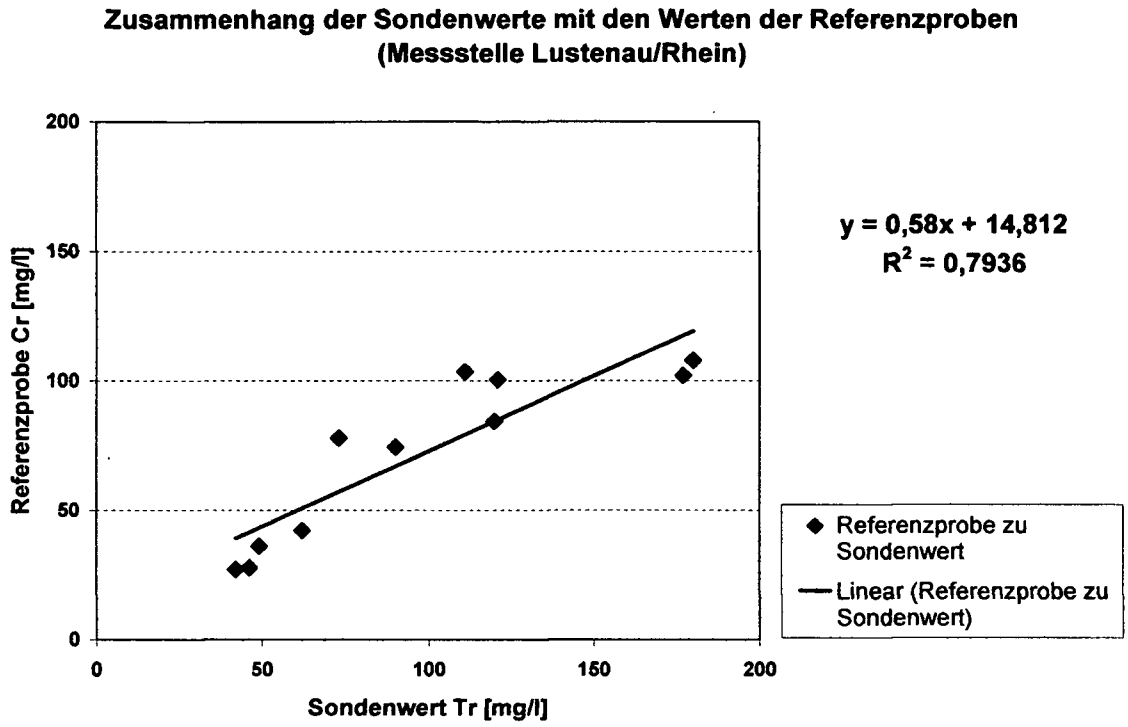


Abbildung 55: Linearer Zusammenhang der Sondenwerte mit den Werten der Referenzproben (Messstelle Lustenau/Rhein)

4.2.4.2 Ermittlung der Querprofilbeiwerte K_Q

Die Zusammenhänge zwischen den mittleren Schwebstoffkonzentrationen C_m im Querprofil und den zugehörigen Referenzprobenwerten C_r der Vielpunkt- und Integrationsentnahmen wurden bestimmt und sind in nachfolgender Tabelle als Querprofilbeiwerte K_Q der Vielpunkt- und Integrationsentnahmen ersichtlich.

Tabelle 7: Mittlere Schwebstoffkonzentrationen C_m, zugehörige mittlere Referenzproben- und Abflusswerte der Vielpunkt- und Integrationsentnahmen sowie bestimmte Querprofilbeiwerte K_Q der vier Messungen, Messstelle Lustenau/Rhein

Datum	Cm VP [mg/l]	Cm INT [mg/l]	Cr VP [mg/l]	Cr INT [mg/l]	KQ VP	KQ INT	Q [m³/s]
03.08.2006	77.09	77.27	95.68	84.46	**0.81**	**0.91**	140.71
13.09.2006	39.66	36.03	31.65	31.65	**1.25**	**1.14**	181.5

Ein Zusammenhang zwischen Querprofilbeiwerten und zugehörigen Durchflüssen wurde zwar aufgestellt - Abbildung 56 - ist aber statistisch, aufgrund der geringen Anzahl von Messungen, nicht zulässig.

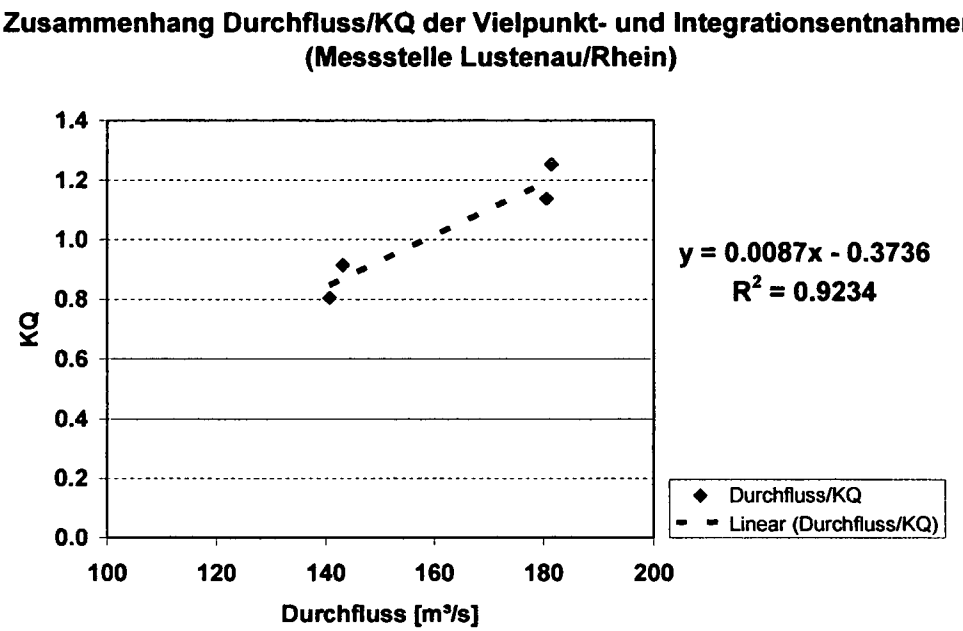


Abbildung 56: nicht zulässiger Zusammenhang des Durchfluss zu K_1-Faktoren (Messstelle Lustenau/Rhein)

Da die vier berechneten K_Q-Faktoren im Mittel ungefähr 1 ergeben wurde dieser, zur weiterführenden Frachtberechnung gleich 1 gesetzt.

4.2.5 Frachtberechnung

Die Schwebstofffrachten wurden aus der, der Kalibrierung unterzogenen Schwebstoffganglinie - Abbildung 55 berechnet. Die Sondenwerte der Trübungsaufzeichnung wurden anhand des berechneten linearen Zusammenhanges der Trübungswerte, zu den Referenzprobenwerten in ufernahe Schwebstoffgehalte von Referenzproben umgerechnet. Die Korrektur zu mittleren Schwebstoffgehalten aus den Durchflusswerten berechneten K_Q-Faktoren erübrigt sich aufgrund der Beziehung K_Q=1.

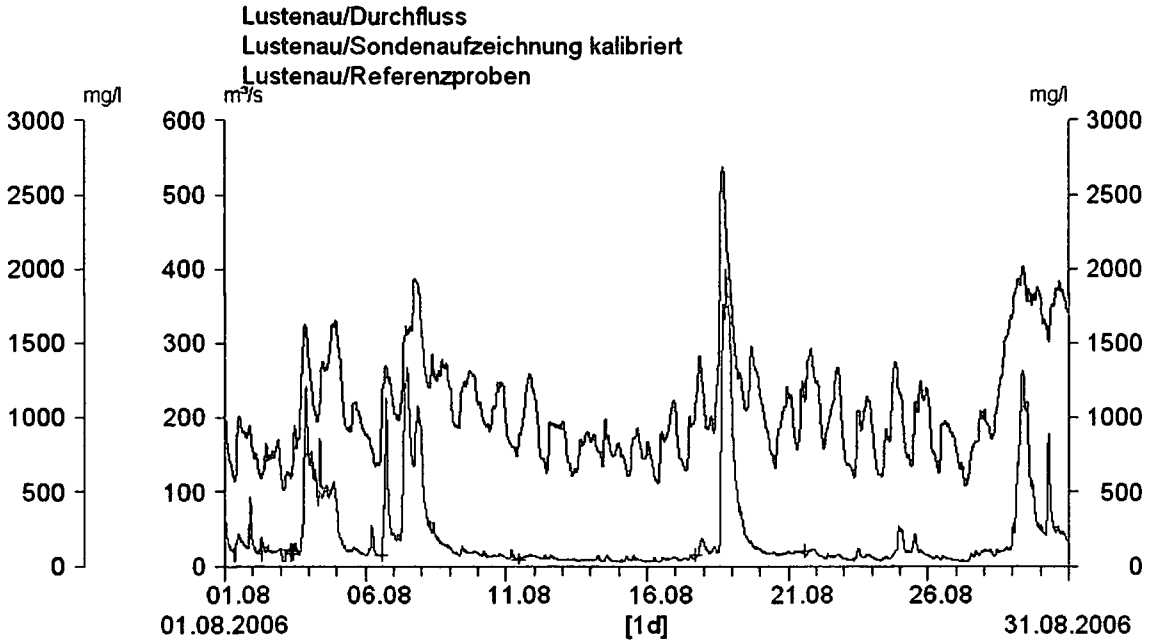


Abbildung 57: Durchflussganglinie mit entnommenen Referenzproben und kalibrierter Sondenaufzeichnung Lustenau/Rhein für den Monat August 2006

Diese Frachtberechnung kann nur eine erste Idee des ungefähren Schwebstofftransportes am Rhein in Lustenau liefern. Eine zu geringe Anzahl an Messungen und ufernahe Referenzproben lassen eine statistische Aussage nicht zu. Die berechneten Schwebstofffrachten für den Messzeitraum 20. Juli bis 16. September 2006 betragen 220 000 t. Für den Monat August ergibt sich ein Wert von 166 000 t (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Schwebstofffrachten im Sommer 2006 in Lustenau/Rhein

Zeitraum	Schwebstofffracht [t]
20.07. - 16.09.2006	**220 000**
01. - 31.08.2006	**166 000**

4.2.6 Weitere Ergebnisse

4.2.6.1 Vergleich der Handschöpfproben

Pro Visite werden vom Hydrographischen Dienst Vorarlberg üblicherweise je zwei Referenzproben entnommen. Die Entnahme an der Messstelle Lustenau/Rhein – alte Eisenbahnbrücke erfolgt von der Brücke, mittels Ablassen eines 12l- Eimers. Auch während der Feldarbeiten im Rahmen dieser Diplomarbeit erfolgte die erste Entnahme am 10. Juli auf diese übliche Methode. Beim Filtrieren der Proben im Labor –

ersichtlich in Abbildung 58- ergaben sich jedoch große Unterschiede im Schwebstoffgehalt der 1. und 2. Handschöpfprobe.

Dieses Problem, der relativ großen Differenz zweier Proben bei Entnahme mittels größerem Behältnis und anschließender Abfüllung in Laborflaschen erwähnt bereits SILLABER, 2004 in seiner Arbeit:

" Es zeigt sich also dass nicht alle Sedimente mittels Paddeln in Schwebe gehalten wurden, sondern sich schon am Behälterboden ablagerten. Die relativ große Differenz zwischen den zwei Probenentnahmen deutet auf eine, durch das Rühren verursachte Wolkenbildung hin. Weiters könnte sich aufgrund der Zentrifugalkraft durch das Rühren, eine ungleiche Schwebstoffverteilung im Behälter ergeben".

Zur Lösung dieses Problems wurde das, von der Verfasserin entwickelte Entnahmegerät verwendet, bei welchem eine Laborflasche fixiert werden kann. Die zweifache Referenzprobenentnahme hat nun in kurzmöglichsten Abständen zu erfolgen. Bei den Referenzprobenentnahmen während den Vielpunkt- und Integrationsentnahmen erfolgte die einfache Entnahme.

Beim Vergleich der Schwebstoffgehalte der ersten und zweiten Handschöpfprobe und Bestimmung einer linearen Ausgleichsgeraden - Abbildung 58 - zeigt sich eine große Abweichung mit einem unbefriedigenden Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,33. Unter Ausschluss des Datenpunktes der Schöpfentnahme mittels Eimer, verbessert sich R^2 auf 0,88. Die Gleichung der Funktion ist y=1,0475*x.

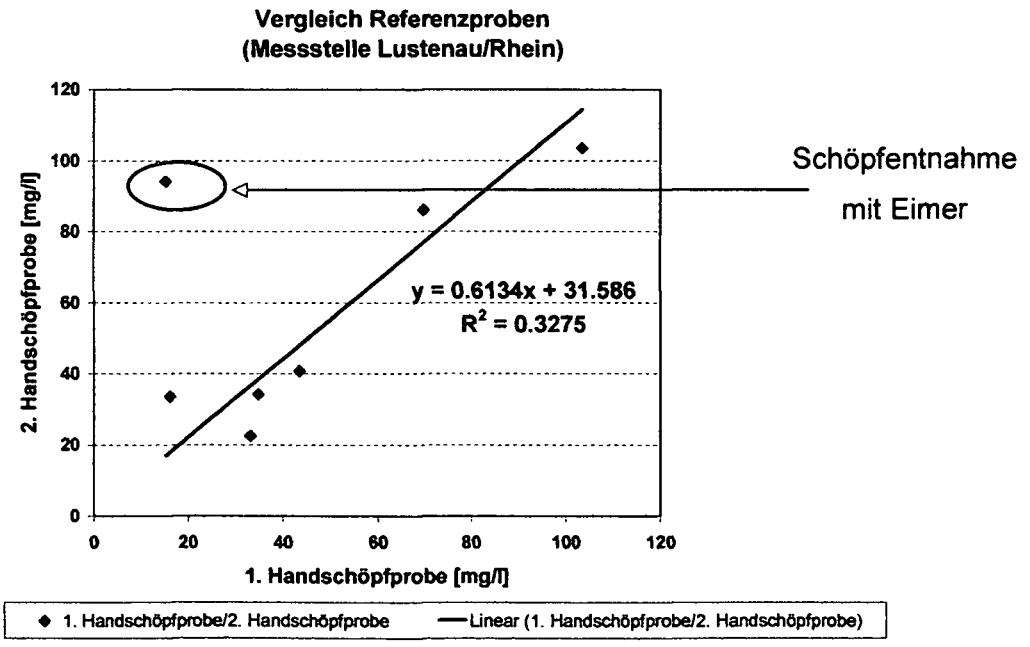


Abbildung 58: Vergleich der Referenzproben, Messstelle Lustenau/Rhein

Die Entnahme von Brücken, im Vergleich mit der Schöpfentnahme vom Ufer (siehe Kapitel 4.1.8.1) ist ungleich schlechter zu koordinieren, da ein Absenken des Entnahmegerätes auf die gewünschte Tiefe aufgrund der unterschiedlichen Strömungsverhältnisse praktisch nicht möglich ist. Aufgrund zeitlicher Restriktionen war es nicht möglich, ausreichendes Datenmaterial für eine statistisch signifikante Auswertung zu erheben.

Für die Auswertungen und Angleichung der Sondenwerte der Trübungsganglinie an ufernahe Referenzprobenwerte, wurde stets der Mittelwert von erster und zweiter Handschöpfprobe herangezogen.

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Gisingen/Ill

5.1.1 Trübungsganglinie und Kalibrierung der Trübungssonde

In Abbildung 59 sind die Durchfluss- und Trübungsganglinie der Messstelle Gisingen/Ill für einen typischen Ausschnitt des Messzeitraumes Sommer 2006 dargestellt. Zwischen den beiden Ganglinien zeigt sich kein ähnlicher Verlauf, was darauf schließen lässt, dass kein guter Zusammenhang zwischen Durchfluss- und Trübungswerten besteht. Es fällt auf, dass die Sonde relativ oft bei geringen Durchflüssen erhöhte Trübungswerte registriert. Mögliche Erklärungsmöglichkeiten könnten sich durch Remobilisierung von Sedimenten beim Schwellbetrieb, aufgrund von Baumaßnahmen an der Gewässersohle und möglicherweise aufgrund von Kieswäsche in einem Zubringer der Ill ergeben. Grundsätzlich gilt, dass der Transport von Schwebstoffen zum überwiegenden Teil von der Verfügbarkeit des Materials gesteuert wird und weitgehend unabhängig vom Abfluss erfolgt. Zudem weisen zahlreiche Arbeiten darauf hin, dass es wegen Phasenverschiebung, Hysteresiseffekten, Abspülvorgängen und der Erschöpfung von Feststoffquellen eine einzelne Beziehung zwischen Abfluss und Schwebstofftransport, weder in Raum noch in der Zeit geben kann (STRUNK, 1993).

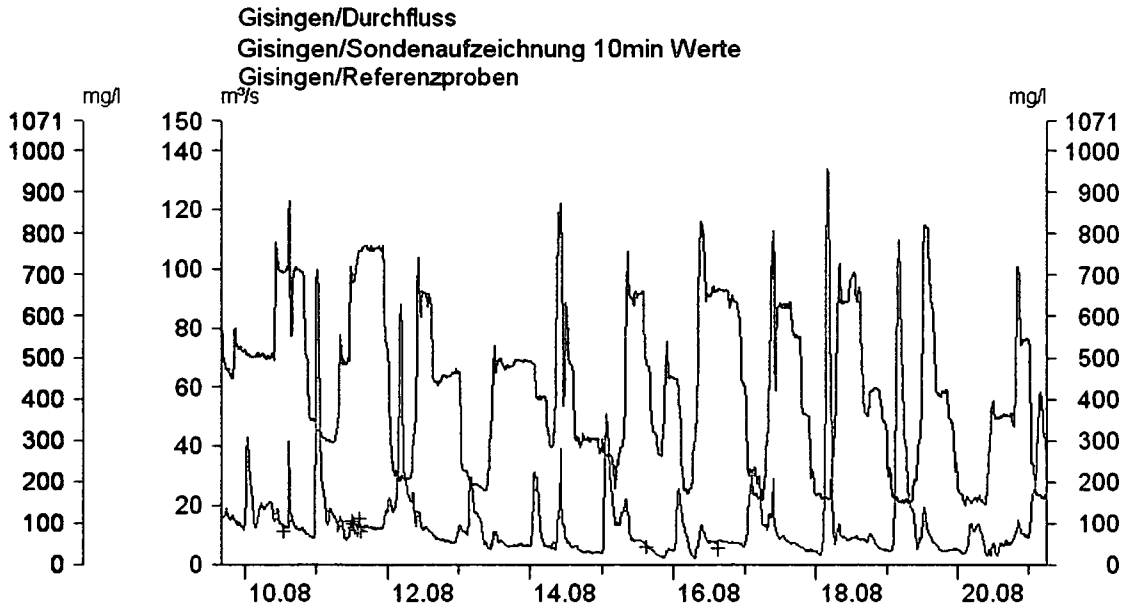


Abbildung 59: Durchfluss- und Trübungsganglinie vom 10. bis 20. August der Messstelle Gisingen/Ill mit entnommenen Referenzproben

Für die Kalibrierung der Trübungssonde wurden die in Sondennähe entnommenen Referenzproben herangezogen. Abbildung 60 zeigt eine Zusammenhangsaufstellung zwischen Trübungssondenwerten und simultan gemessenen Schwebstoffkonzentrationen (siehe Kapitel 4.1.6.1). Die Sondenwerte und die Werte der Referenzproben liegen zwischen 25 und 560 mg/l.

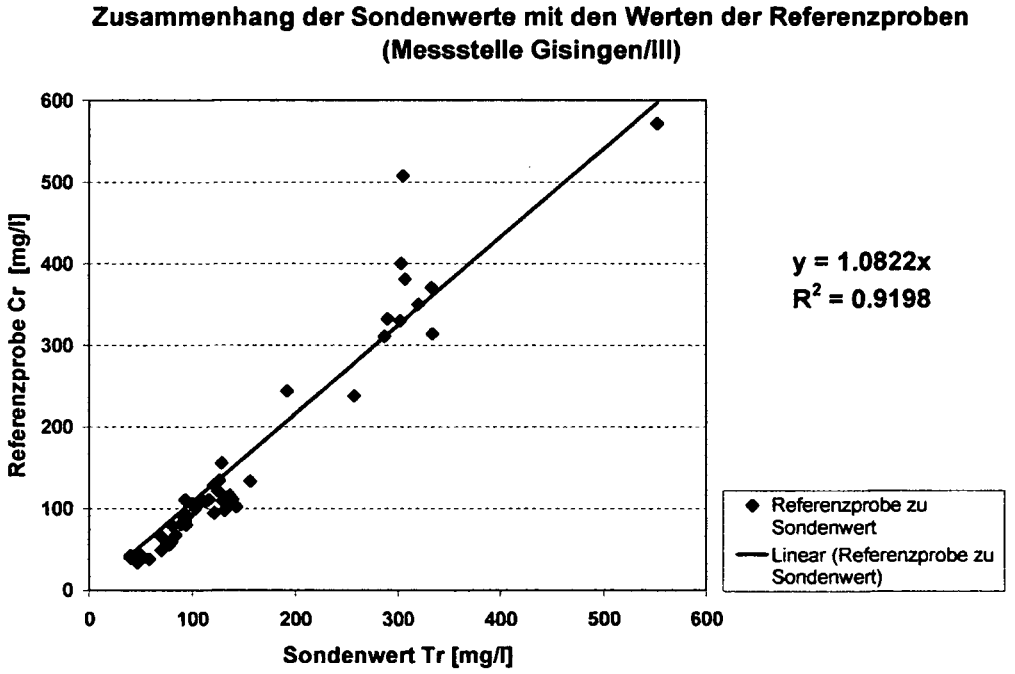


Abbildung 60: Zusammenhang der Sondenwerte mit den Werten der Referenzproben (Messstelle Gisingen/Ill)

Die Gleichung der Regressionsgeraden wurde durch den Nullpunkt gewählt. Für die Steigung dieser Geraden ergibt sich ein Wert von 1,08 mit einem Korrelationskoeffizienten R^2 von 0,92.

Versuchsweise wurde eine zweite lineare Regressionsanalyse für Werte kleiner 150 mg/l aufgestellt. Die Steigung dieser Regressionsgeraden ergibt einen Wert von 0,89 bei einem R^2 von 0,8, die in Abbildung 61 dargestellt ist.

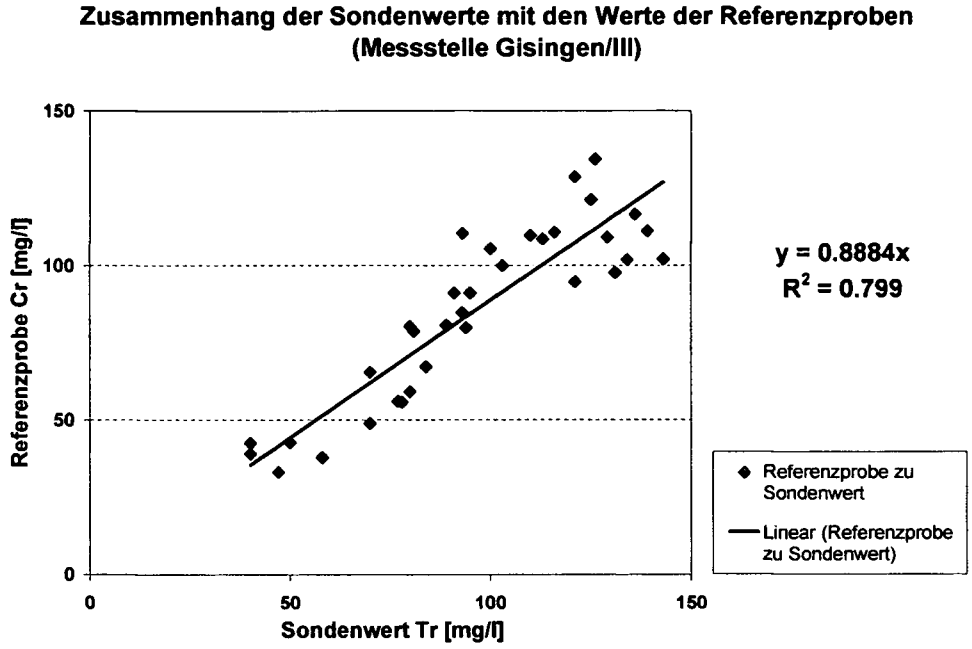


Abbildung 61: Zusammenhang der Sondenwerte mit den Werten der Referenzproben (<150 mg/l), Messstelle Gisingen/Ill

Es zeigt sich dass bei geringen Schwebstoffkonzentrationen (<150 mg/l) die Werte der Trübungssonde über und bei höheren Konzentrationen unter den Werten der Schwebstoffkonzentrationen der Referenzproben liegen. Eine eventuelle Erklärungsmöglichkeit hierfür liefern SCHOELLHAMMER & WRIGHT 2003: "Feinere Sedimente haben pro Gewichtseinheit mehr reflektierende Oberfläche, aufgrund dessen sich bei einem konstanten Schwebstoffgehalt zeigt, dass die Sondenanzeige steigt wenn die Schwebstoffe feiner werden". Bei der Druckfiltration im Labor konnte der Unterschied von feinem Sediment zu feinem Sediment mit gröberen Anteilen bei ansteigender Menge optisch erkannt werden.

Abbildung 62: Filter und Dichtungsring mit feinem Sediment und Anteilen an gröberem Sediment nach Druckfiltration

Dieses Ergebnis zeigt Differenzen zu SILLABER 2004, der die Steigung der Regressionsgeraden mit 0,66 berechnete. Dies bedeutet dass die Werte der Trübungssonde im Sommer 2003 über den Werten der Referenzproben lagen. Im Unterschied zur Messmethodik des Sommers 2006 ließ Sillaber nicht nur Werte der Referenzproben, sondern auch der in Sondennähe getätigten Integrationsentnahmen in die Kalibrierung der Trübungssonde, sowie Entnahmen die durch den Hydrographischen Dienst Vorarlberg am 09.10.2003 bei Trübungswerten zwischen 4730 und 7130 mg/l getätigt wurden, einfließen.

5.1.2 Schwebstoffkonzentration und Schwebstofftrieb

Insgesamt wurden in den Sommermonaten 2006 an der Pegelmessstelle Gisingen/Ill sieben Vollprofilmessungen durchgeführt. Es handelt sich um vier Vielpunktentnahmen und drei Integrationsentnahmen, die bei Durchflüssen zwischen 62 und 144 m^3/s durchgeführt wurden. Im folgenden Kapitel wird die Verteilung der Schwebstoffkonzentrationen bzw. des Schwebstofftriebes über das Gewässerprofil dargestellt.

5.1.2.1 Vielpunktentnahmen

Die mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil für die einzelnen Vielpunktmessungen schwankt zwischen 98,32 mg/l am 11. August und 422,37 mg/l am 30. August.

In Tabelle 9 ist ein Vergleich der mittleren Schwebstoffkonzentrationen (C_m) aller Vielpunktentnahmen mit dem mittleren Durchfluss, den mittleren Schwebstoffkonzentrationen der Referenzproben (C_r), den mittleren Trübungswerten (T_r) und den mittleren Querprofilbeiwerten (K_Q) während des jeweiligen Entnahmezeitraums dargestellt.

Tabelle 9: Vergleich der mittleren Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil mit den mittleren Referenzprobengehalten, Trübungswerten, K_Q- Faktoren und dem Durchfluss der Vielpunktentnahmen, Gisingen/Ill

Datum	Q [m³/s]	Cr [mg/l]	Cm [mg/l]	Tr [mg/l]	KQ
02.08.2008	62.20	107.92	105.77	130.83	0.98
11.08.2006	105.00	91.56	98.32	93.74	1.07
28.08.2006	116.14	117.17	156.91	117.25	1.34
30.08.2006	143.44	341.36	422.37	322.25	1.24

Bei höheren Abflüssen zeigen sich meist höhere mittlere Schwebstoffkonzentrationen Ein genereller Zusammenhang zwischen Abfluss und mittlerem Schwebstoffgehalt kann aber - wie bereits in Kapitel 5.1.1 ausgeführt - nicht gefunden werden. Zudem eignet sich die geringe Anzahl von Vielpunktentnahmen zu keiner statistischen Aussage.

Die Querprofilbeiwerte (K_Q) zeigen größere Schwankungen. Am 2. August ergibt sich am Ufer ein höherer Schwebstoffgehalt als im gesamten Profil. An den übrigen Messtagen sind die Konzentrationen am Ufer geringer, am 28. und 30. August sogar deutlich geringer als im gesamten Messquerschnitt. Diese Werte weisen darauf hin, dass die Ill nicht wie bislang angenommen, gut und bei steigendem Abfluss aufgrund der hohen Turbulenzen, noch besser durchmischt ist. Dieses Faktum ist hervorzuheben, da vorangegangene Arbeiten an verschiedenen Flüssen Österreichs, stets schlussfolgerten, dass mit ansteigendem Abfluss aufgrund der höheren Turbulenzen eine Durchmischungsverbesserung im jeweiligen Fließgewässerquerprofil stattfindet.

Zur weiteren Untersuchung dieses unerwarteten Ergebnisses, werden in Tabelle 10 die Schwebstofftriebe der einzelnen Messlotrechten miteinander verglichen. Die Ermittlung der Schwebstoffkonzentrationen in Ufernähe wurde in einem ungefähren Abstand von 8 m zur ersten Messlotrechten (L1) getätigt.

Tabelle 10: Schwebstofftriebe der einzelnen Lotrechten und zugehörige Durchflüsse, Gisingen/Ill

Datum	Schwebstofftrieb [g/(m*s)] und [%]										Q
	L1		L2		L3		L4		L5		[m³/s]
02.08.2006	41	9%	189	41%	491	107%	457	100%	273	60%	62
11.08.2006	57	8%	473	63%	625	83%	757	100%	582	77%	105
28.08.2006	180	14%	780	60%	1200	92%	1300	100%	940	72%	116
30.08.2006	660	15%	2460	56%	3610	83%	4360	100%	3200	73%	143

Die Schwebstofftriebe der 4. Messlotrechte weisen die höchsten Werte auf und wurden zum Vergleich mit den übrigen Lotrechten gleich 100% gesetzt. Wird nun die Messung vom 2.08.2006 in die Betrachtungen nicht miteinbezogen (Probleme während des Messvorgangs, vergleiche Kapitel 4.1.2.1 und 5.1.2.1) können den Messlotrechten eins bis fünf, der drei Messtage prozentuelle Größenklassen zugeordnet werden. Der Schwebstofftrieb der ersten Messlotrechte beträgt nur 8 – 15% des in Messlotrechte Nr. 4 ermittelten Schwebstofftriebes. In Bezug auf die 100% Schwebstofftrieb der 4.

Lotrechte transportiert die zweite Lotrechte 56 – 63%, die 3. Lotrechte 83 -92% und die fünfte Lotrechte 72 – 77%. Die hohen Transportanteile der dritten und vierten Messlotrechte passen sehr gut mit den dort einhergehenden höchsten mittleren Fließgeschwindigkeiten überein (siehe Kapitel 4.1.2).

Von Feldkirch bis zur Mündung in den Rhein zeigt die Ill einen - mit trapezförmigem Querschnitt regulierten - geradlinigen Verlauf. Dieser morphologische Zustand, sowie sehr hohe mittlere Fließgeschwindigkeiten im Bereich von 2 bis 3m³/s, liefern eventuelle Erklärungsmöglichkeiten für den erhöhten Anteil der dritten und vierten Lotrechte am Schwebstofftrieb im Querprofil. Das stark strömende Hauptwasser wird in diesem Fließgewässerabschnitt in einer Tiefenrinne abtransportiert. Die durch geringe Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten charakterisierten Lotrechten eins und zwei weisen geringe Anteile am Schwebstofftrieb im Querprofil auf.

5.1.2.2 Integrationsentnahmen

Im Sommer 2006 wurden insgesamt drei Integrationsentnahmen mit dem US P61A Suspended Sediment Sampler an der Messstelle Gisingen/Ill durchgeführt. Tabelle 11 zeigt einen Vergleich der mittleren Durchflüsse mit den jeweiligen mittleren Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil (C_m), Referenzprobengehalten (C_r), Trübungswerten (T_r) sowie den Querprofilbeiwerten (K_Q-Faktoren) während der Entnahmezeiträume der einzelnen Integrationsentnahmen.

Tabelle 11: Vergleich der mittleren Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil mit den mittleren Referenzprobengehalten, Trübungswerten, K_Q- Faktoren und dem Durchfluss Q der Integrationsentnahmen, Gisingen/Ill

Datum	Q [m³/s]	Cr [mg/l]	Cm [mg/l]	Tr [mg/l]	KQ
11.08.2006	105.00	91.56	141.27	93.74	1.54
28.08.2006	116.33	117.17	203.84	117.25	1.74
30.08.2006	144.33	385.68	664.57	322.25	1.72

Die Querprofilbeiwerte (K_Q) zeigen größere Schwankungen, ähnlich den K_Q-Faktoren der Vielpunktentnahmen jedoch mit deutlich überhöhten Werten. An allen Messtagen sind die Konzentrationen am Ufer deutlich geringer als im gesamten Messquerschnitt. Im Vergleich der einzelnen Lotrechten hinsichtlich des Schwebstofftriebes –Tabelle 12 – zeigt sich eine ähnliche Tendenz. Die Werte der ersten Lotrechten liegen gar nur mehr bei 5 – 11% in Bezug auf die 100% Schwebstofftrieb in der vierten Lotrechten.

Tabelle 12: Schwebstofftriebe der einzelnen Lotrechten an den Messtagen und zugehörige Durchflüsse, Gisingen/Ill

Datum	Schwebstofftrieb [g/(m*s)] und [%]										Q
	L1		L2		L3		L4		L5		[m³/s]
11.08.2006	59	5%	559	51%	931	85%	1095	100%	922	84%	105
28.08.2006	180	11%	970	59%	1540	93%	1650	100%	1350	82%	116
30.08.2006	890	10%	2740	32%	5550	65%	8520	100%	4960	58%	144

Dieser überhöhte Schwebstofftrieb in den Lotrechten drei bis fünf kann, wie bereits in Kapitel 3.1.3 erwähnt wurde, auf die hohen Fließgeschwindigkeiten und der damit verbundenen erhöhten Abdrift des US P61A Suspended Sediment Sampler zurückgeführt werden. Weiters spielt die relativ lange Anfahrtsdauer der Seilbahnwinde mit einhergehender längerer Befüllung der Laborflasche im Bereich der größten Schwebstoffkonzentration eine Rolle.

5.1.2.3 Vergleich der Vielpunkt- und Integrationsentnahmen

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Vielpunktentnahmen mit jenen der Integrationsentnahmen verglichen. Da die Integrationsentnahmen jeweils in die Vielpunktentnahmen integriert wurden, also bei beinahe gleichen Durchflüssen und Trübungswerten stattfanden, und weiters das selbe Entnahmegerät verwendet wurde, sind die Ergebnisse für einen brauchbaren Vergleich bestens geeignet.

Tabelle 13 zeigt den Vergleich der zwei Entnahmemethoden hinsichtlich Durchfluss Q, mittlerem Referenzprobengehalt C_r und mittlerem Schwebstoffgehalt im Querprofil C_m.

Tabelle 13: Vergleich Vielpunkt- und Integrationenentnahmen hinsichtlich, mittlerem Referenzprobengehalt (C_r) und mittlerem Schwebstoffgehalt im Querprofil (C_m), Gisingen/Ill

Datum	Messung	Q [m³/s]	Cr [mg/l]	Cm [mg/l]	[%]
11.08.2006	VP	105	92	98	100%
	INT	105	92	141	144%
28.08.2006	VP	116	117	157	100%
	INT	116	117	204	130%
30.08.2006	VP	143	341	422	100%
	INT	144	341	665	157%

Bei annähernd identischen Durchfluss- und Referenzprobenwerten zeigen sich deutliche Schwankungen der mittleren Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil. So

liegen die ermittelten Werte der Integrationsentnahmen um 130 bis 144% über den Werten der Vielpunktentnahmen. Gründe für die bei den Integrationsentnahmen ermittelten erhöhten Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil, könnten die in vorangegangenem Kapitel erwähnten Probleme der Integrationsmessung bei Flüssen mit hohen Fließgeschwindigkeiten sein.

5.1.2.4 Vergleich der Daten mit den Daten von Sillaber 2003

Ein Vergleich der Daten aus den Jahren 2006 und 2003 ist insofern schwierig da sich – vergleiche Tabelle 14 – Durchfluss- und Referenzprobenwerte an den Messtagen aufgrund der unterschiedlichen hydrologischen Bedingungen während der Sommermonate stark unterscheiden.

Tabelle 14: Vergleich der Messdaten aus den Jahren 2006 und 2003 (Sillaber)

Datum	Messung	Q [m³/s]	Cm [mg/l]	Cr [mg/l]	Schwebstofftransport [kg/s]
02.08.2006	VP	62.20	105.77	107.92	6.58
11.08.2006	VP	105.00	98.32	91.56	10.32
	INT	105.00	141.27	91.56	14.83
28.08.2006	VP	116.14	156.91	117.17	18.22
	INT	116.33	203.84	117.17	23.71
30.08.2006	VP	143.44	422.37	341.36	60.58
	INT	144.33	664.57	385.68	95.92
10.07.2003	INT	98.10	18.6	18	1.81
21.07.2003	INT	96.30	48.8	43	4.64
29.07.2003	INT	43.00	57.9	45	2.59
15.08.2003	VP	15.30	2.3	3.1	0.04
30.08.2003	VP	29.70	323.5	440	9.44

5.1.3 Korrektur der Trübungsganglinie

Nach erfolgter Kalibrierung der Trübungssonde – Kapitel 5.1.1 – muss die Trübungsganglinie dahingehend korrigiert werden, dass die Querprofilbeiwerte K_Q der Vielpunkt- bzw. Integrationsentnahmen in Zusammenhang mit den zugehörigen Durchflüssen gesetzt werden.

5.1.3.1 Querprofilbeiwerte K_Q

Wie bereits in Kapitel 4.1.6.2 ausgeführt, konnte eine empirische Beziehung zwischen dem Durchfluss und den K_Q-Faktoren der Vielpunktentnahmen aufgestellt werden, mit welcher die Referenzprobenwerte in mittlere Schwebstoffgehalte im Querprofil umgerechnet wurden.

Die Ermittlung der K_Q-Faktoren – dargestellt in Tabelle 15 – ergeben Werte zwischen 0,98 und 1,34 bei den Vielpunktentnahmen und Werte zwischen 1,54 und 1,74 bei den Integrationsentnahmen.

Tabelle 15: Querprofilbeiwerte K_1, im Vergleich die Vielpunkt- Integrationsentnahmen, Gisingen/Ill

Datum	Vielpunktentnahmen				Integrationsentnahmen			
	Cm [mg/l]	Cr [mg/l]	KQ	Q [m³/s]	Cm [mg/l]	Cr [mg/l]	KQ	Q [m³/s]
02.08.2006	105.77	107.92	**0.98**	62	-	-	-	-
11.08.2006	98.32	91.56	**1.07**	105	141.27	91.56	**1.54**	105
28.08.2006	156.91	117.17	**1.34**	116	203.84	117.17	**1.74**	116
30.08.2006	422.37	341.36	**1.24**	143	664.57	341.36	**1.95**	144

Die K_Q-Faktoren der Integrationsentnahmen liegen deutlich über den, bei annähernd gleichen Durchflüssen und mittleren Referenzprobenwerten ermittelten K_Q-Faktoren der Vielpunktentnahmen. Es kann davon ausgegangen werden dass die Vielpunktentnahmen im Vergleich mit den Integrationsentnahmen exaktere Messungen der Schwebstoffkonzentration ermöglichen. Folglich wurden zur Aufstellung einer empirischen Beziehung zwischen dem Durchfluss und den K_Q-Faktoren lediglich die aus den Vielpunktentnahmen ermittelten Werte herangezogen (vergleiche Kapitel 4.1.6.2).

Abbildung 63 zeigt die Durchflussganglinie und die Sondenaufzeichnung mit den entnommenen Referenzproben, sowie der kalibrierten und hinsichtlich der K_Q-Faktoren der Vielpunktentnahmen korrigierte Schwebstoffganglinie der Messstelle Gisingen/Ill, für den ausgewählten Zeitraum 10. bis 20. August 2006. Die Korrektur des Schwebstoffgehaltes an der Messstelle Gisingen/Ill erfolgt bei Schwall nach oben und bei Sunk leicht nach unten.

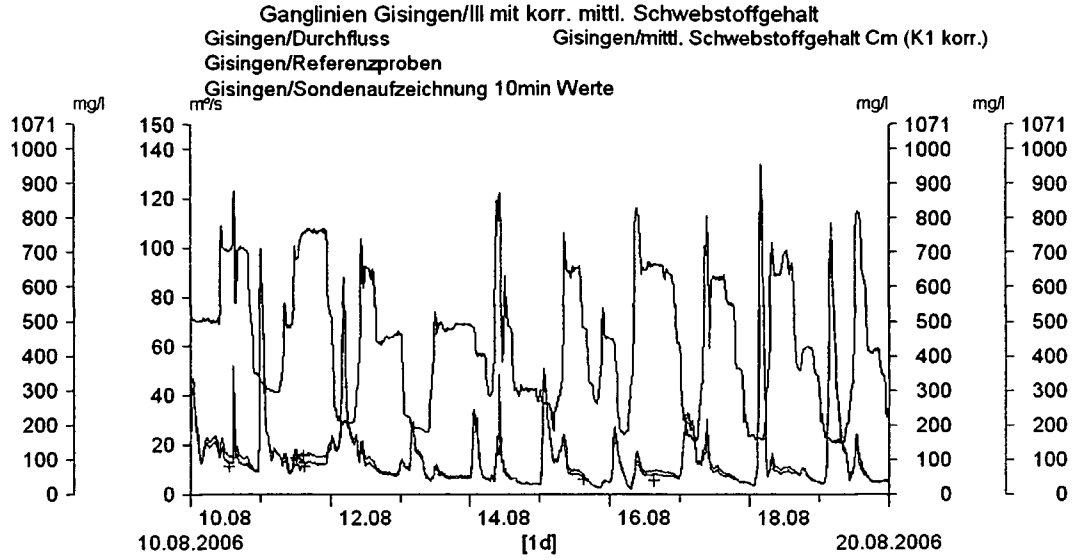


Abbildung 63: Durchflussganglinie und Sondenaufzeichnung mit entnommenen Referenzproben und korrigierter Schwebstoffganglinie Gisingen/Ill für den Zeitraum 10. bis 20. August 2006

5.1.4 Frachtberechnung

Die in Kapitel 4.1.7 angeführten Schwebstofffrachten für den Messzeitraum 10. Juli bis 11. September sind Schätzwerte, die einen vorläufigen, guten Anhaltspunkt für die transportierte Schwebstoffmenge geben. Um die verwendeten Schätzfunktionen besser an die tatsächlichen Begebenheiten anpassen zu können, sind zusätzliche Untersuchungen notwendig.

5.1.4.1 Frachtberechnung anhand von Untersuchungen der Illwerke von 1981/82

In den Jahren 1981 und 1982 wurden von den Vorarlberger Illwerken an der Illmündung, Geschiebe und Schwebstoffmessungen durchgeführt. Die Werte der Schwebstoffproben wurden, in Abhängigkeit von der Wasserführung in einem Diagramm aufgetragen und die stark streuenden Werte durch die Exponentialkurve

$$\text{Schwebstoffgehalt s } [g/m^3] = 0{,}00143 * Q^{2{,}40} \qquad (6)$$

ausgeglichen. Über die Dauerlinie wurde in weiterer Folge die Schwebstofffracht bestimmt.

Unter Anwendung dieser Methode der Jahre 1981/82, für den Messzeitraum August 2006 ergeben sich die - in nachfolgenden Abbildungen - ersichtlichen Ganglinien.

Abbildung 64 zeigt die Ganglinie des mittleren Schwebstoffgehaltes C_m, im Vergleich mit der Ganglinie des anhand erwähnter Exponentialfunktion berechneten Schwebstoffgehaltes s.

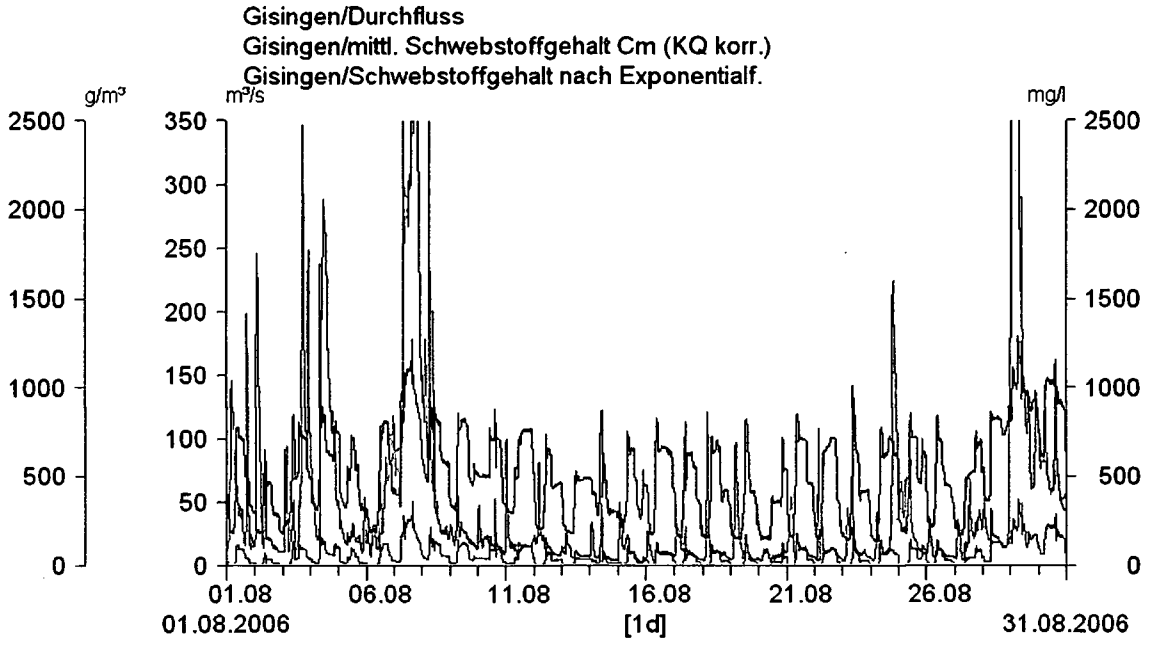


Abbildung 64: Ganglinien des Durchfluss, des mittlere Schwebstoffgehaltes C_m und des Schwebstoffgehaltes nach Exponentialfunktion für den Zeitraum August 2006, Gisingen/Ill

Die anhand der Exponentialfunktion in Abhängigkeit vom Durchfluss berechneten Schwebstoffgehalte s, liegen deutlich unter den mittleren Schwebstoffgehalten C_m im Querprofil. Spontane Elementarereignisse mit erhöhtem Schwebstofftrieb werden durch diese Berechnungsart nicht berücksichtigt.

Die Frachtberechnung anhand des K_Q-Faktor ergibt für den Zeitraum 1. bis 31. August – Kapitel 4.1.7 - 84.188 t. Die Frachtberechnung anhand der Exponentialfunktion welche in Abhängigkeit zum Durchfluss steht ergibt 16.106 t. Die Schwebstofffracht der Ill wird bei Berechnung mit der Methode der Jahre 1981/82 deutlich unterschätzt.
Abbildung 65 zeigt die Ganglinie des Durchfluss in Zusammenhang mit den Ganglinien der Frachtberechnung anhand des K_Q-Faktor und anhand der Exponentialfunktion für den Monat August 2006.

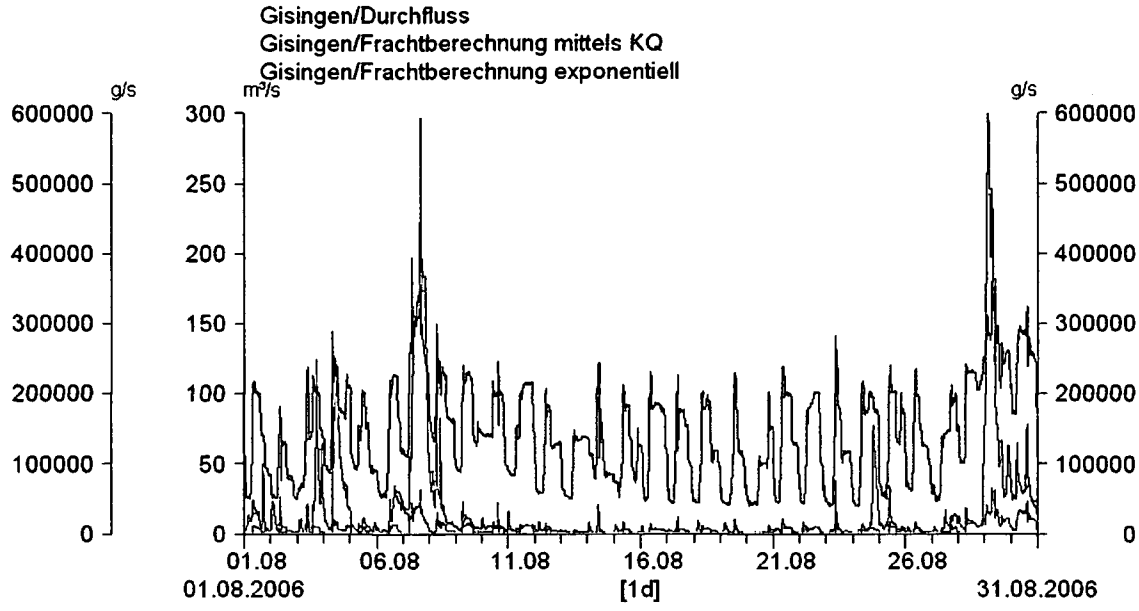


Abbildung 65: Ganglinien des Durchfluss sowie der Frachtberechnung mittels K_Q-Faktor und anhand der Exponentialfunktion in Gisingen/Ill

5.2 Lustenau/Rhein

5.2.1 Trübungsganglinie und Kalibrierung der Trübungssonde

Die adaptierte Sondenaufzeichnung (vergleiche Kapitel 4.2.1) zeigt keinen unmittelbaren Zusammenhang mit dem Durchfluss bei niedrigen Abflüssen. Erhöht sich der Abfluss merklich, so steigen auch die Trübungswerte.

Für die Kalibrierung der Trübungssonde wurden die in Sondennähe entnommenen Referenzproben herangezogen (vergleiche Kapitel 4.3.2.1).

Abbildung 66 zeigt die Ganglinie des Durchfluss, der adaptierten sowie kalibrierten Sondenaufzeichnung und die entnommenen Referenzproben an der Messstelle Lustenau/Rhein im Zeitraum 1. August bis 15. September 2006.

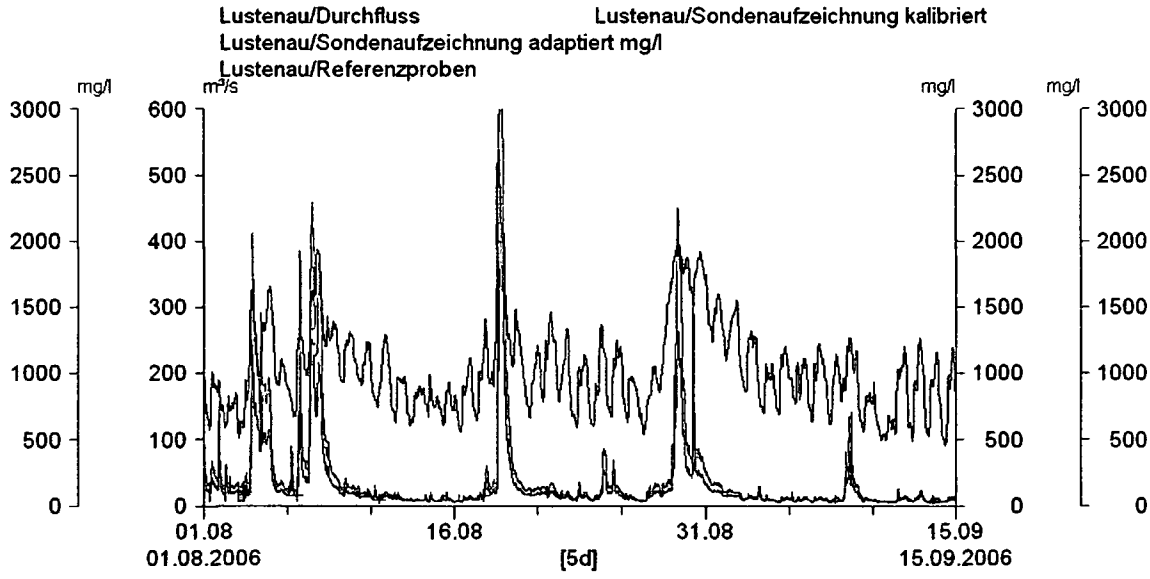


Abbildung 66: Ganglinien des Durchfluss, der adaptierten sowie kalibrierten Sondenaufzeichnung und die entnommenen Referenzproben an der Messstelle Lustenau/Rhein

Die, anhand der Funktion y=0,58*x+14,812 mit einem R^2 von 0,79 kalibrierte Trübungsganglinie berechnet im Vergleich zu den Werten der Sondenaufzeichnung geringere Schwebstoffkonzentrationen.

5.2.2 Schwebstoffkonzentrationen, Umrechnung der Sondenwerte und Querprofilbeiwert

Insgesamt wurden im Sommer 2006 an der Pegelmessstelle Lustenau/Rhein vier Vollprofilmessungen durchgeführt. Es handelt sich um je zwei Vielpunkt- und Integrationsentnahmen, die bei Durchflüssen zwischen 140,71 bis 181,5 m^3/s durchgeführt wurden.

An den zwei Messtagen im August und September zeigen die K_Q-Faktoren, dass sie deutlich zwischen 0,81 und 1,25 schwanken (Tabelle 16). Wie bereits in vorangehendem Kapitel erwähnt, zeigt sich im Mittelwasserbereich kein Zusammenhang zwischen Abfluss und Trübe. Gründe für den höheren Schwebstoffgehalt am 3.08.2006 bei vergleichsweise niedrigerem Durchfluss von 140,71 bei der Vielpunktentnahme, bzw. 143,17 m^3/s bei der Integrationsentnahme zur Messung am 13.09.2006 mit 181,50 bzw. 180,60 m^3/s, sind in den zahlreichen Zubringern, wie etwa der Ill, zu suchen (vergleiche hierzu die Ereignisse in der Ill Kapitel 5.1.1.). Der Schwebstofftrieb im Rhein steht somit gleichfalls in keinem erkennbaren Zusammenhang mit dem Durchfluss, sondern wird im Wesentlichen von Elementarereignissen bestimmt. Hier sind starke Schneeschmelze und ausgiebige Regenfälle im Einzugsgebiet, die zu Murabgängen führen können zu nennen.

Tabelle 16: Mittlere Schwebstoffkonzentrationen C_m im Querprofil, mittlere Referenzprobengehalte C_r, Trübungswerte T_r, Querprofilbeiwerte K_Q, sowie Durchfluss Q der Vielpunkt- und Integrationsentnahmen, Lustenau/Rhein

Datum	Messung	Q [m^3/s]	Cr [mg/l]	Cm [mg/l]	Tr [mg/l]	KQ
03.08.2006	VP	140.71	95.68	77.09	129.88	0.81
	INT	143.17	84.46	77.27	124.45	0.91
13.09.2006	VP	181.50	31.65	39.66	45.05	1.25
	INT	180.60	31.65	36.03	44.46	1.14

Wie in Tabelle 16 ersichtlich ist, weichen die Werte der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil C_m und die Querprofilbeiwerte K_Q im Vergleich der zwei Entnahmemethoden - Vielpunkt- und Integrationsentnahme - kaum voneinander ab. Dies bedeutet, dass an der Messstelle Lustenau/Rhein, beide Entnahmemethoden brauchbare Ergebnisse liefern und in weiterer Folge im

Routinebetrieb eventuell auf die aufwändigere Vielpunktentnahme verzichtet und mit der Integrationsentnahme gearbeitet werden kann.

Aufgrund der geringen Anzahl von Messungen wurde auf die Korrektur der Trübungsganglinie verzichtet und der K_Q-Faktor gleich 1 gesetzt.

5.2.3 Schwebstofftrieb im Querprofil

Die Aufteilung des Schwebstofftriebes im Querprofil des Rheins an der Messstelle Lustenau verhält sich im Mittelwasserbereich relativ homogen. Den höchsten Schwebstofftrieb liefern die zweite und dritte Lotrechte (Tabelle 17).

Tabelle 17: Schwebstofftrieb im Querprofil der Messungen an der Pegelmessstelle Lustenau/Rhein

Datum	Messung	Schwebstofftrieb [g/(m*s)]					Q
		L1	L2	L3	L4	L5	[m³/s]
03.08.2006	VP	190.82	300.57	308.09	233.12	172.01	**140.71**
	INT	217.00	297.47	339.77	247.75	170.36	**143.17**
13.09.2006	VP	137.67	216.80	180.14	162.46	109.72	**181.50**
	INT	140.43	178.13	156.82	154.07	107.65	**180.60**

Es sind weitere Untersuchungen bei erhöhtem Abfluss nötig um feststellen zu können, ob sich eine Änderung der Verteilung des Schwebstofftriebes im Querprofil ergibt, und ob sich zwei Lotrechte finden lassen, die stellvertretend für das gesamte Querprofil beprobt werden könnten.

5.2.4 Frachtberechnung

Die in Kapitel 4.3.3 angeführten Schwebstofffrachten für den Messzeitraum 20. Juli bis 16. September sind Schätzwerte, die einen vorläufigen Anhaltspunkt für die transportierte Schwebstoffmenge geben. Um die verwendeten Schätzfunktionen besser an die tatsächlichen Begebenheiten anpassen zu können, sind zusätzliche Untersuchungen notwendig.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Schwebstoffe bilden zusammen mit dem Geschiebe und den Schwimmstoffen die Feststoffe eines Gewässers. Die Schwebstoffkonzentration und der Schwebstofftransport sind für wasserwirtschaftliche und wasserbauliche Probleme von großer Bedeutung. Vor allem bei Ablagerungen in Gewässern und Überflutungsflächen, bei der Verlandung von Stauräumen, bei der Kolmation der Gewässersohle, für die aquatischen Lebensbedingungen und beim Schadstofftransport spielt das Wissen über die Schwebstoffkonzentration und den Schwebstofftransport eine große Rolle.

Im Sommer 2003 wurde in den Bundesländern Vorarlberg, Niederösterreich und Oberösterreich Pionierarbeit zur Optimierung der Schwebstoffmessung im Zuge von Diplomarbeiten - betreut durch das Institut für Hydrologie, Wasserwirtschaft und konstruktiven Wasserbau an der Universität für Bodenkultur, Wien – geleistet. Aufbauend auf die ermittelten Daten und Ergebnisse zur Optimierung der Schwebstoffmessung, hat sich die Arbeitsgruppe „Schwebstoffmessung im Hydrografischen Dienst" die Aufgabe gestellt, ein Schwebstoffbasismessnetz zu errichten. Neben der kontinuierlichen Erfassung der Schwebstoffkonzentrationen, Transportraten und jährlichen Schwebstofffrachten an den wichtigsten Gewässerabschnitten ist es Ziel der Untersuchungen, auch die im Messbetrieb gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen für die Erstellung eines Leitfadens zur Schwebstoffmessung in Österreich verfügbar zu machen.

In Vorarlberg wurden im Sommer 2006 von der Verfasserin - im Rahmen einer Ferialpraxis beim Land Vorarlberg, Abteilung Wasserwirtschaft - aufbauend auf den Untersuchungen von Sillaber (2004) - ergänzende Beprobungen an der Messstelle Gisingen/Ill vorgenommen, sowie zwei weitere Messstellen in Lustenau am Rhein und in Kennelbach an der Bregenzerach in Betrieb genommen. Leider haben zahlreiche technische Probleme an der Messstelle Kennelbach/Bregenzerach, die vor allem durch den mehrmaligen Sondenausfall durch Blitzschlag sowie durch eine defekte Seilbahnsteuerung gegeben waren, eine Durchführung des vorgesehenen Messprogramms, in der zur Verfügung stehenden Zeit, nicht ermöglicht

Die Bestimmung des Schwebstoffgehaltes kann durch direkte oder indirekte Messmethoden erfolgen. Die direkte Messung beruht auf der Entnahme von

Wasserproben, deren Filtrierung, Trocknung und anschließender Bestimmung des Filterrückstandes. Bei der indirekten Messung liefern die eingesetzten Geräte einen Bezugswert, aus welchem auf den Schwebstoffgehalt geschlossen werden kann. Diese Methoden sind abhängig von der Art und den Eigenschaften der Schwebstoffe und benötigen zur Bestimmung des tatsächlichen Schwebstoffgehaltes eine Kalibrierung, anhand von direkt entnommenen Referenzproben in unmittelbarer Sondennähe. Der wesentliche Vorteil der indirekten Messmethode mit Trübungssonden besteht in der automatisierten und kontinuierlichen Aufzeichnung von Trübungswerten.

Im Rahmen der Diplomarbeit wurde eine Kombination aus indirekter Messung des Schwebstoffgehaltes mittels Trübungssonden und direkten Messungen zur Bestimmung der Schwebstoffkonzentration in Form von Handprobenentnahmen, Vielpunkt- und Integrationsentnahmen, an den Pegelmessstellen Gisingen/Ill und Lustenau/Rhein angewendet. Das Einzugsgebiet an der Messstelle Gisingen/Ill beträgt 1281 km² und an der Messstelle Lustenau/Rhein 6110 km².

Durch den erfolgreichen Einsatz von Trübungssonden zur kontinuierlichen Aufzeichnung der Schwebstoffkonzentrationen an den zwei Messstellen, konnten kontinuierliche Trübungsdaten aufgezeichnet werden, die als Basis für die Bestimmung der Schwebstofffrachten dienten. Die Handprobenentnahme in Sondennähe und deren gravimetrische Auswertung gestaltete sich besonders an der Messstelle Gisingen/Ill als äußerst effektiv und erfolgreich. Die Sondenbeiwerte für die Korrektur der Trübungswerte der Sonde konnten bestimmt werden.

Zur Berechnung der Schwebstofffrachten über einen längeren Zeitraum müssen die am Ufer entnommenen Referenzprobengehalte in Beziehung zu den mittleren Schwebstoffgehalten im gesamten Messquerschnitt gesetzt werden. Deshalb wurden im Sommer 2006 in Gisingen/Ill und Lustenau/Rhein verteilte Probenentnahmen über das Querprofil nach den Methoden der Vielpunkt- und Integrationsentnahme durchgeführt. Aus diesen Entnahmen konnten die, zur Berechnung der Querprofilbeiwerte notwendigen, mittleren Schwebstoffgehalte im Querprofil berechnet werden.

In Gisingen/Ill wurden im Sommer 2006 insgesamt vier Vielpunkt-, drei Integrations- und vier Dauerentnahmen durchgeführt. Die Messung des Durchflusses erfolgte mittels herkömmlichem Messflügel.

Zur Kalibrierung der Sondenwerte der Trübungsmessung zu tatsächlichen Schwebstoffkonzentrationen wurde eine lineare Regression zwischen den Sondenwerten und den Schwebstoffgehalten der Referenzproben mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,92 aufgestellt.

Aus den Vielpunktentnahmen konnten die mittleren Schwebstoffgehalte im Querprofil bestimmt und in Zusammenhang mit den mittleren Referenzprobenwerten gestellt werden. Die so ermittelten Querprofilbeiwerte zeigen unterschiedliche Verhältnisse zwischen den Schwebstoffgehalten am Ufer und im gesamten Messquerschnitt, wobei die Werte zwischen 0,98 und 1,34 schwanken. Eine lineare Beziehung zwischen den Querprofilbeiwerten und dem Durchfluss wurde aufgestellt. Mithilfe dieser Faktoren konnten die mittleren Schwebstoffgehalte für den gesamten Messzeitraum berechnet werden, die mit dem Durchfluss multipliziert und integriert schließlich die Schwebstofffracht für den Zeitraum 10. Juli bis 11. September 2006 ergaben.

Die Schwebstofffracht der Ill betrug für den gesamten Messzeitraum 110.592 t und für den Monat August 84.188 t.

In Lustenau/Rhein wurden im August und September 2006 insgesamt zwei Vielpunkt- und zwei Integrationsentnahmen durchgeführt.

Die gewonnenen ufernahen Schwebstoffgehalte der Referenzproben wurden in linearer Regression den Werten der Trübungssonde mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,79 gegenübergestellt.

Beide unterschiedlichen Entnahmemethoden, Vielpunkt- und Integrationsentnahme lieferten ähnliche mittlere Schwebstoffkonzentrationswerte im Querprofil. Beide Methoden sind zur Probenentnahme gut geeignet. Eine Beziehung der Querprofilbeiwerte zum Durchfluss konnte am Rhein aufgrund der geringen Anzahl von Messungen nicht gefunden werden.

Die Frachtberechnung am Rhein erfolgte schließlich anhand der kalibrierten Trübungsganglinie und beträgt demnach im Messzeitraum 20. Juli bis 16. September 220.000 t und im August 2006 166.000 t.

Allgemein kann festgestellt werden, dass die Schwierigkeiten bei beiden Messstellen in den nahezu fehlenden stationären Verhältnissen von Ill und Rhein liegen. Die

Vielpunktentnahmen sind zur Bestimmung des Querprofilbeiwertes gut geeignet. Bei den Messungen muss aber darauf geachtet werden, dass der bestmöglichste Zeitpunkt ausgewählt wird, um keine Beeinträchtigung der Ergebnisse durch wechselnde Wasserstände zu erlangen.

7 Literaturverzeichnis

AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, ABTEILUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2005): Flussgebietseinheit Rhein, Bearbeitungsgebiet Alpenrhein/Bodensee, Bericht zur Bestandsaufnahme in Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie der EU, Bregenz

BROGGI, M. F. UND GRABHER, G. (1991): Biotope in Vorarlberg, Endbericht zum Biotopinventar Vorarlberg, Vorarlberger Verlagsanstalt, Dornbirn

BUHMANN, D. UND HUTTER, G. (1998): Fließgewässer in Vorarlberg, Gewässergüte und Wasserbeschaffenheit 1998, Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, Abteilung Gewässergüte und Bodenschutz, Bregenz

DIN 38 409 (1987): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H), Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe und des Glührückstandes (H 2), Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., März 1987

DVWK 125/1986: DVWK Regeln Schwebstoffmessung, DK 556.535.6 Schwebstoff, DK 558.08 (083) Messrichtlinie, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

DVWK 115/1997: DVWK Schriften Wasserwirtschaftliche Bedeutung der Festlegung und Freisetzung von Nährstoffen durch Sedimente in Fließgewässern, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

DVWK 128/1999: Methoden zur Erkundung, Untersuchung und Bewertung von Sedimentablagerungen und Schwebstoffen in Gewässern, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

EDWARDS, T.; GLYSSON, G. (1999): Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment, Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S. Geological Survey, Book 3, Applications of Hydraulics, Chapter C2

HACH LANGE (2004): Solitax sc, Bedienungsanleitung, DOC023.72.03232.Feb04, 2004a

HACH LANGE (2004): Produktinformation Prozess-Messtechnik Solitax Sc, DOC063.72.00353.Jul04, 2004b

HABERSACK, H. (2006): Studienblätter zur Vorlesung Monitoring im Flussbau, Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien

HYDROGRAPHISCHES JAHRBUCH VON ÖSTERREICH, 2002: Hydrographischer Dienst in Österreich, Jahrbuch 2002, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Eigenverlag, Wien

HOFMANN, TH. (2000): Gaias Sterne. Ausflüge in die geologische Vergangenheit Österreichs. Grüne Reihe des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie. Band 12

INATURA (2004): Sonderband zur Jahrestagung des Verbandes Österreichischer Höhlenforscher, Vorarlberger Naturschau – forschen und entdecken, Dornbirn

FÜRST, J. (2006): Studienblätter zur Vorlesung Gewässerkunde und Hydrometrie, Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien

KELLER, O. (1995): Kleine Geologie und Landschaftsgeschichte Vorarlbergs, Vigl-Druck, Dornbirn

KERSCHBAUMSTEINER, W.; mit Beiträgen von LALK, P. (2005): Schwebstoffmessung in Österreich, Erstellung einer vorläufigen Anleitung für Schwebstoffmessungen, Vorläufiger Endbericht (Stand 20.01.2005), Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien

KERSCHBAUMSTEINER, W. (2006): Vorläufige Arbeitsanleitung für Schwebstoffmessungen im Jahr 2006 (Stand: 15.03.2006), Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau

KERSCHBAUMSTEINER, W. & STIMPFL, G. (2005): Schwebstoffmessungen an den Pegelstellen Mureck/Mur und Feldbach/Raab, Vorläufiger Bericht, Universität für

Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien

MANIAK, U. (2005): Hydrologie und Wasserwirtschaft, eine Einführung für Ingenieure, 5. bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Braunschweig

MORD, M. (1996): Der Alpenrhein und sein Nebengewässersystem, Ein Zustandsbericht mit dem Schwerpunkt Gewässermorphologie, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, Abteilung für Hydrobiologie, Fischereiwirtschaft und Aquakultur, Wien

NACHTNEBEL, H.P., SEIDELMANN, R., MÜLLER, H. W., SCHWAIGHOFER, B. (1998): Herkunft und Zusammensetzung der Schwebstoffe in der Donau und Ihren wichtigsten Zubringern, Band 45, Schriftenreihe der Forschung im Verbund

REY, P. (2004): Ökologische Aspekte der Gewässerentwicklung, Alpenrheinzuflüsse und Bäche im Rheintal, Internationale Regierungskommission Alpenrhein – Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, IRKA, Thusis

SCHOELLHAMMER, D. H. und WRIGHT, S. A. (2003): Continuous measurement of suspended sediment discharge in rivers by use of optical backscatterance sensors, In: Schwebstoffmonitoring an Mur und Raab, Stimpfl, G. (2006), Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien

SCHUTZWASSERBAU IN VORARLBERG (1992): 17. Flussbautagung in Bregenz, Landeswasserbauamt Bregenz, Amt der Vorarlberger Landesregierung, In: Optimierung der Schwebstoffmessungen an der Ill in Vorarlberg, Sillaber, M. (2004), Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien

SIGRIST-PHOTOMETER: Sigrist – Photometer AG, Glossar, November 2006 in http://www.photometer.com/ge/abc/abc_038.htm

SILLABER, M. (2004): Optimierung der Schwebstoffmessung an der Ill in Vorarlberg, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien

SPREAFICO, M. (1992): Hydrologie des Rheingebietes, Der Alpenrhein und seine Regulierung, Internationale Rheinregulierung 1892-1992, BuchsDruck und Verlag, Buchs

SPREAFICO, M.; LEHMANN, C. SCHEMMER, H., BURGDORFFER, M., & KOS, T.L. (1996): Feststoffbeobachtungen im Rhein, Beschreibung der Messgeräte und Messmethoden. Internationale Kommission für Hydrologie des Rheingebietes, In: Optimierung der Schwebstoffmessungen an der Ill in Vorarlberg, Sillaber, M. (2004), Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien

STIMPFL, G. (2006): Schwebstoffmonitoring an Mur und Raab, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Wien

STRUNK, N. (1993): Schwebstofftransport und Hochwasserdynamik, Eine Untersuchung über das Transportverhalten gelöster und suspendierter Wasserinhaltsstoffe zur Identifikation aktiver partikulärer Stoffquellen

VORARLBERGER ILLWERKE AKTIENGESELLSCHAFT (1982): Die Geschiebe- und Schwebstofffracht der Ill an der Mündung, Werksgruppe Obere Ill - Lünersee Walgauwerk

WALSER, L.; LUTZ, S.; HUTTER, G.; BUHMANN, D. (2001): Fließgewässer in Vorarlberg, Gewässerinventar, Teil 2: Strukturgüte der Fließgewässer im südlichen Vorarlberg Stand 2001, Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, Bregenz

WERNER, R. & I. AUER (2001): Klima von Vorarlberg. Eine anwendungsorientierte Klimatographie. Band II. Amt der Vorarlberger Landesregierung, Bregenz

WIENER MITTEILUNGEN (1992): Band 107, Wasserrechtsgesetz-Novelle '90 und neue Emissionsverordnungen, Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Wien

8 Anhang

8.1 Referenzproben

8.1.1 Referenzproben Gisingen/Ill

Referenzproben der Messstelle Gisingen/Ill							
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [cm]	Tr [mg/l]	Cr1 [mg/l]	Cr2 [mg/l]	Q [m³/s]	T [°C]
18.07.2006	14:00	291	81	99.90	57.57	115.0	12.2
24.07.2006	10:42	284	192	260.09	228.00	58.9	12.5
01.08.2006	13:04	286	257	240.70	236.02	72.1	12.1
06.08.2006	12:17	286	305	502.85	512.28	130.0	9.8
08.08.2006	16:28	263	156	125.28	141.73	108.0	11.2
10.08.2006	13:05	289	89	81.03	80.50	112.0	10.4
15.08.2006	15:03	240	50	41.30	44.39	115.0	11.1
16.08.2006	15:00	278	58	36.04	39.88	118.0	10.7
21.08.2006	14:34	287	78	59.73	52.00	83.6	11
24.08.2006	10:40	266	70	46.25	84.96	265.0	10.7
04.09.2006	08:36	234	40	30.95	54.23	37.5	10.5
07.09.2006	18:53	275	40	29.81	48.46	91.8	11.6
11.09.2006	15:43	286	47	32.47	34.14	58.3	12.3

8.1.2 Referenzproben Lustenau/Rhein

Referenzproben der Messstelle Lustenau/Rhein							
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [cm]	Tr [mg/l]	Cr1 [mg/l]	Cr2 [mg/l]	Q [m³/s]	T [°C]
10.07.2006	09:25	550		16.3	33.6	142	
18.07.2006	08:54	545		34.86	34.28	142	13.8
06.08.2006	13:21	580	90		74.38	176	12.3
11.08.2006	11:02	572	62	43.46	40.85	173	11.4
17.08.2006	17:05	604	73	69.67	86.16	218	14.9
21.08.2006	13:47	603	111	103.46	103.53	224	12.7
04.09.2006	09:29	547	22	15.26	94.11	137	12.5
07.09.2006	18:12	595	46	33.18	22.52	204	14.6

8.2 Messprotokolle

8.2.1 Messprotokolle Gisingen/Ill

Schwebstoff Vielpunkt-/Integrationsentnahme - Messprotokoll

Messstelle: Gisingen/Ill						**Datum: 02.08.2006**							
Entnahmegerät: US-P61A						Wasserstände am Pegel:							
Trübesonde: Solitx ts-line						Beginn der Messung:					Uhrzeit: 11:15		[MEZ]
Wassertemperatur:	Beginn: 13 °C		Ende: 13 °C			Ende der Messung:					Uhrzeit: 14:49		[MEZ]
Messflügel - Nr. 3-125404, 162426						Bemerkung: bewölkt							
Messtrupp: Kerschbaumsteiner Willi, Kremser Helga													
Nr.der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wassertiefe	Entnahme-tiefe	Entnahme-dauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Schwebstoffgehalt		Geschwindigkeit		Bemerkung
										U/30s	v	
	WS	b	t_v				Zeitpunkt der Geräteauslösung	Tr	C			
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[s]		[t]-MEZ	[mg/l]	[mg/l]		[m/s]	
		21										RuP
1	232	23	1.03	0.8		1	12:25	136	120	6	0.22	
				0.62		2		134	89.04	6	0.22	
				0.21		3		134	90.64	20	0.70	
				0.06		4		134	90.23	21	0.73	
2	232	27	1.95	1.77		5	12:49	132	94.9	13	0.46	
				1.56		6		132	31.52	40	1.40	Ventil
				1.17		7		133	110.9	59	2.06	nicht
				0.39		8		131	110.9	67	2.34	in Ordnung
				0.07		9		128	189	71	2.48	
3	232	31	1.86	1.68		10	13:10	131	155.7	39	1.36	
				1.49		11		132	107.6	57	1.99	
				1.12		12		134	94.41	65	2.27	
				0.37		13		137	121.3	85	2.97	
				0.1		14		135	99.18	84	2.94	
4	232	35	1.92	1.76		15	14:12	133	149.6	34	1.18	
				1.54		16		129	108.1	60	2.10	
				1.15		17		128	91.84	71	2.48	
				0.38		18		124	103.9	78	2.73	
	220			0.1		19		124	86.11	82	2.87	
5		39	1.78	1.6		20	14:34	124	75.63	33	1.15	
				1.42		21		125	86.46	47	1.64	
				1.07		22		119	85.34	59	2.06	
	203			0.36		23		117	76.8	62	2.17	
				0.1		24	12:00	116	87.66	54	1.89	
		42.5										LuP

Schwebstoff Sondennahe Entnahme - Messprotokoll

Messstelle: Gisingen/Ill						**Datum: 02.08.2006**				
Entnahmegerät: Handschöpfgerät						Wasserstände am Pegel:				
Trübesonde:	Ansprechzeit:		Wischerintervall:			Beginn der Messung:		Uhrzeit: 11:15		[MEZ]
Wassertemperatur:	Beginn: 13 °C		Ende: 13 °C			Ende der Messung:		Uhrzeit: 14:49		[MEZ]
Bezügliche Vielpunkt- bzw. Integrationsentnahme:						Bemerkung:				
Messtrupp: Kerschbaumsteiner Willi, Kremser Helga										
Nr.der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wassertiefe	Entnahme-tiefe	ungefähre Entnahme-dauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Trübesonde Schwebstoff-messung	Schwebstoffkonzentration Cr	Bemerkung
	WS	b	t_v				Zeitpunkt der Probenentnahme			
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[s]		[t]-MEZ	[mg/l]		
	232					1	11:15	143	102.07	
	232					2	11:45	142	236.02	
	231					3	12:15	139	111.27	
	231					4	12:45	134	101.90	
	231					5	13:15	131	97.73	
	233					6	13:49	136	116.60	
	231					7	14:15	129	109.20	
	201					8	14:45	116	110.83	

Schwebstoff Vielpunkt-/Integrationsentnahme - Messprotokoll

Messstelle: Gisingen/Ill						**Datum: 11.08.2006**							
Entnahmegerät: US-P61A						Wasserstände am Pegel:							
Trübesonde: Solitx ts-line						Beginn der Messung:					Uhrzeit: 12:05		[MEZ]
Wassertemperatur: Beginn: 9.7 °C			Ende: 9.7 °C			Ende der Messung:					Uhrzeit: 14:55		[MEZ]
Messflügel - Nr. 3-125404, 162426						Bemerkung: bewölkt, Regen, Sonne; instationär bei letzter Integrationsentnahme							
Messtrupp: Vallaster Christian, Kremser Helga													
Nr.der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierun	Wassertiefe	Entnahme-tiefe	Entnahme-dauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Schwebstoffgehalt		Geschwindigkeit		Bemerkung
										U/30s	v	
	WS	b	t_V				Zeitpunkt der Geräteauslösung	Tr	C			
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[s]		[l]-MEZ	[mg/l]	[mg/l]		[m/s]	
		19.35										RuP
1	280	22	0.91	0.73	80	1	13:20	90	82.85	15	0.79	
				0.55	75	2		90	84.79	17	1.08	
				0.18	70	3		91	90.21	29	1.54	
				0.06	70	4		91	82.35	28	1.89	
					86	5	13:34	93	96.57		Integrationsm.	
2	290	26	2.17	1.99	60	6	13:38	90	116.30	44	1.40	
				1.74	45	7		91	88.25	55	2.13	
				1.30	20	8		91	93.27	70	2.55	
				0.43	20	9		91	90.13	76	2.94	
				0.10	20	10		90	91.45	79	2.76	
					58	11	13:49	91	106.87		Integrationsm.	
3	292	30	2.19	2.01	35	12	13:53	92	141.02	55	2.06	
				1.75	25	13		95	129.79	66	2.55	
				1.31	20	14		92	116.38	74	3.04	
				0.44	15	15		92	74.05	90	3.36	
				0.06	15	16		95	124.00	86	3.26	
					26	17	14:12	93	165.04		Integrationsm.	
4	292	34	2.42	2.28	45	18	14:16	94	169.49	47	1.82	
	295			1.94	20	19		92	158.82	67	2.69	
				1.45	20	20		95	129.45	70	3.04	
				0.48	12	21		96	90.97	91	3.40	
				0.09	12	22		94	96.87	91	3.68	
					20	23	14:33	93	178.20		Integrationsm.	
5	295	38	2.52	2.34	60	24	14:37	93	149.71	34	0.59	
				2.02	45	25		93	122.19	50	2.41	
				1.51	20	26		90	101.69	67	2.83	
				0.50	15	27		91	85.88	81	3.11	
				0.09	15	28		94	93.71	82	3.36	
					24	29	14:55	92	154.24		Integrationsm.	
		43.32										LuP

Schwebstoff Sondennahe Entnahme - Messprotokoll

Messstelle: Gisingen/Ill						**Datum: 11.08.2006**				
Entnahmegerät: Handschöpfgerät						Wasserstände am Pegel:				
Trübesonde: Ansprechzeit: Wischerintervall:						Beginn der Messung:			Uhrzeit: 12:05	[MEZ]
Wassertemperatur: Beginn: 9.7 °C			Ende: 9.7 °C			Ende der Messung:			Uhrzeit: 14:55	[MEZ]
Bezügliche Vielpunkt- bzw. Integrationsentnahme:						Bemerkung: Regen, leicht instationär				
Messtrupp: Vallaster Christian, Kremser Helga										
Nr.der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wassertiefe	Entnahme-tiefe	ungefähre Entnahme-dauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Trübesonde Schwebstoff-messung	Schwebstoffkonz entration Cr	Bemerkung
	WS	b	t_V				Zeitpunkt der Probenentnahme			
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[s]		[l]-MEZ	[mg/l]		
	280					1	12:02	100.0	105.61	
	280					2	12:32	103.0	100.09	
	281					3	13:00	91.0	91.07	
	293					4	13:35	93.0	84.81	
	292					5	14:00	95.0	91.07	
	295					6	14:30	93.0	110.46	
	296					7	15:00	94.0	79.89	

Schwebstoff Vielpunkt-/Integrationsentnahme - Messprotokoll

Messstelle: Gisingen/III						**Datum: 28.08.2006**							
Entnahmegerät: US-P61A						Wasserstände am Pegel:							
Trübesonde: Solitx ts-line						Beginn der Messung:					Uhrzeit: 10:46		[MEZ]
Wassertemperatur: Beginn: 10 °C			Ende: 10.1 °C			Ende der Messung:					Uhrzeit: 13:22		[MEZ]
Messflügel - Nr. 3-125404, 162426						Bemerkung: bewölkt							
Messtrupp: Vallaster Christian, Kremser Helga													

Nr.der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wassertiefe	Entnahme-tiefe	Entnahme-dauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Schwebstoffgehalt		Geschwindigkeit		Bemerkung
										U/30s	v	
	WS	b	t_V				Zeitpunkt der Geräteauslösung	Tr	C			
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[s]		[I] -MEZ	[mg/l]	[mg/l]		[m/s]	
		18.8										RuP
1		22	1.24	1.06	60	1	11:45	126	118.18	21	0.79	
				0.99	60	2		125	134.34	23	1.08	
				0.74	60	3		125	127.67	31	1.54	
				0.25	50	4		124	130.51	39	1.89	
				0.06	45	5		124	128.77	42	1.71	
					60	**6**	**12:02**	**124**	**128.06**		**Integrationsm.**	
2		26	2.50	2.32	60	7		124	167.68	23	1.40	
				2.00	45	8		125	156.87	62	2.13	
				1.50	40	9		126	134.34	68	2.55	
				0.50	35	10		124	134.47	75	2.94	
				0.06	30	11		123	132.70	78	2.76	
					53	**12**	**12:17**	**120**	**164.22**		**Integrationsm.**	
3		30	2.68	2.50	45	13		120	239.86	53	2.06	
				2.14	35	14		120	193.65	73	2.55	
				1.16	30	15		120	147.64	81	3.04	
				0.54	20	16		120	139.08	94	3.36	
				0.20	20	17		121	125.12	95	3.26	
					70	**18**	**12:34**	**120**	**202.74**		**Integrationsm.**	
4		34	2.76	2.48	45	19	12:38	120	223.02	53	1.82	
				2.21	22	20		117	228.46	89	2.69	
				1.66	30	21		113	153.88	77	3.04	
				0.55	18	22		113	152.00	90	3.40	
				0.13	18	23		115	107.91	94	3.68	
						24	**12:56**	**115**	**218.98**		**Integrationsm.**	
5		38	2.88	2.70	48	25	13:00	117	174.06	35	0.59	
				2.30	455	26		114	152.44	54	2.41	
				1.73	35	27		114	134.44	73	2.83	
				0.58	23	28		110	114.84	85	3.11	
				0.34	24	29		114	134.08	87	3.36	
					70	**30**	**13:22**	**114**	**183.40**		**Integrationsm.**	
		43.56										LuP

Schwebstoff Sondennahe Entnahme - Messprotokoll

Messstelle: Gisingen/III						**Datum: 28.08.2006**					
Entnahmegerät: Handschöpfgerät						Wasserstände am Pegel:					
Trübesonde:	Ansprechzeit:		Wischerintervall:			Beginn der Messung:			Uhrzeit: 10:46		[MEZ]
Wassertemperatur:	Beginn: 10 °C		Ende: 10.1 °C			Ende der Messung:			Uhrzeit: 13:16		[MEZ]
Bezügliche Vielpunkt- bzw. Integrationsentnahme:						Bemerkung: bewölkt					
Messtrupp: Vallaster Christian, Kremser Helga											

Nr.der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wassertiefe	Entnahme-tiefe	ungefähre Entnahme-dauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Trübesonde Schwebstoff-messung	Schwebstoffkonzentration Cr	Bemerkung
	WS	b	t_V				Zeitpunkt der Probenentnahme			
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[s]		[I] -MEZ	[mg/l]		
	308					1	10:46	128	156.04	
	307					2	11:15	126	134.50	
	309					3	11:45	125	121.44	
	309					4	12:15	121	128.77	
	309					5	12:45	113	108.61	
	309					6	13:16	110	109.84	

Schwebstoff Vielpunkt-/Integrationsentnahme - Messprotokoll

Messstelle: Gisingen/III						**Datum: 30.08.2006**							
Entnahmegerät: US-P61A						Wasserstände am Pegel:							
Trübesonde: Solitx ts-line						Beginn der Messung:					Uhrzeit: 10:35		[MEZ]
Wassertemperatur: Beginn: 8,5 °C Ende: 9 °C						Ende der Messung:					Uhrzeit: 14:30		[MEZ]
Messflügel - Nr. 3-125404, 162426						Bemerkung: bewölkt, Regen, Sonne; instationär bei letzter Integrationsentnahme							
Messtrupp: Barrado Vagnenzo Alejandro, Kremser Helga													
Nr.der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierun	Wassertiefe	Entnahme-tiefe	Entnahme-dauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Schwebstoffgehalt		Geschwindigkeit		Bemerkung	
										U/30s	v		
	WS	b	t_V				Zeitpunkt der Geräteauslösung	Tr	C				
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[s]		[l] -MEZ	[mg/l]	[mg/l]		[m/s]		
		18,52										RuP	
1	342	22	1.57	1.37	70	1	12:22	306	335.50	23	0.79		
				1,26	60	2		306	318.32	31	1.08		
				0.94	50	3		302	309.86	44	1.54		
				0.31	40	4		301	239.76	54	1.89		
				0.08	50	5		297	305.06	49	1.71		
					38	6	12:39	295	374.89		Integrationsm		
2	341	26	2.76	2.57	50	7		302	406.66	40	1.40		
				2.21	40	8	12:45	303	360.58	61	2.13		
				1.66	30	9		297	385.50	73	2.55		
				0.55	20	10		307	344.82	84	2.94		
				0.10	26	11		307	328.39	79	2.76		
					58	12	12:59	325	400.95		Integrationsm		
3	344	30	2.92	2.68	40	13	13:02	320	798.53	59	2.06		
				2.34	30	14		312	604.21	73	2.55		
				1.75	20	15		315	274.19	87	3.04		
				0.58		16		317	387.50	96	3.36		
				0.11	20	17		335	367.50	93	3.26		
					60	18	13:18	325	646.48		Integrationsm		
4	343	34	2.99	2.77	40	19	13:22	333	786.17	52	1.82		
				2.39	26	20		326	508.05	77	2.69		
				1.79	26	21		333	525.83	87	3.04		
				0.60	20	22		354	422.18	97	3.40		
				0.10	16	23	13:40	358	354.69	105	3.68		
						24	13:50	367	928.31		Integrationsm		
5	343	38	3.16	2.98	70	25		340	519.05	17	0.59		
				2.53	35	26		344	433.30	69	2.41		
				1.90	25	27		332	384.08	81	2.83		
				0.63	20	28	14:23	316	381.76	89	3.11		
				0.10	20	29		323	337.29	96	3.36		
	364					30	14:30	331	553.80		Integrationsm		
		44.24										LuP	

Schwebstoff Sondennahe Entnahme - Messprotokoll

Messstelle: Gisingen/Ill						**Datum: 30.08.2006**				
Entnahmegerät: Handschöpfgerät						Wasserstände am Pegel:				
Trübesonde:	Ansprechzeit:			Wischerintervall:		Beginn der Messung:			Uhrzeit: 10:42	[MEZ]
Wassertemperatur:	Beginn: 8.5 °C		Ende: 9 °C			Ende der Messung:			Uhrzeit: 15:08	[MEZ]
Bezügliche Vielpunkt- bzw. Integrationsentnahme:						Bemerkung:				
Messtrupp: Barrado Vagnenzo Alejandro, Kremser Helga										

Nr.der Meßlotrechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der OP-Stationierung	Wassertiefe	Entnahmetiefe	ungefähre Entnahmedauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Trübesonde Schwebstoffmessung	Schwebstoffkonzentration Cr	Bemerkung
	WS	b	t_v				Zeitpunkt der Probenentnahme			
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[s]		[t]-MEZ	[mg/l]		
	343					1	10:24	287	310.85	
	342					2	10:54	290	332.43	
	341					3	11:25	307	381.47	
	344					4	12:00	303	400.3	
	345					5	12:28	302	330	
	345					6	13:00	320	350.1	
	342					7	13:36	333	371.09	
	341					8	14:00	334	314.24	
	364					9	14:30	331	562.96	
	350					10	15:08	552	583.54	
	350					11	15:08	552	560.2	

8.2.2 Messprotokolle Lustenau/Rhein

Schwebstoff Vielpunkt-/Integrationsentnahme - Messprotokoll												
Messstelle: Lustenau/Rhein						**Datum: 03.08.2006**						
Entnahmegerät: US-P61A						Wasserstände am Pegel:						
Trübesonde: Solitx ts-line						Beginn der Messung:			Uhrzeit: 08:00		[MEZ]	
Wassertemperatur: Beginn: 14 °C Ende: 14 °C						Ende der Messung:			Uhrzeit: 10:43		[MEZ]	
Messflügel - Nr. F767, 1.1546 Seba						Bemerkung: bewölkt						
Messtrupp: Kerschbaumsteiner W., Eberle R., Kremser H.												
Nr.der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierun	Wassertiefe	Entnahme-tiefe	Entnahme-dauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Schwebstoffgehalt		Geschwindigkeit		Bemerkung
										U/30s	v	
	WS	b	t_V				Zeitpunkt der Geräteauslösung	Tr	C			
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[s]		[I]-MEZ	[mg/l]	[mg/l]		[m/s]	
		21										RuP
1	537	25	2.41	2.21	45	1	09:20		83.72	40	0.44	
				1.93	60	2			100.18	58	0.63	
				1.45	60	3			100.19	84	0.91	
				0.48	60	4			112.64	87	0.94	
				0.12	60	5			70.62	77	0.84	
					75	**6**	**09:37**		**107.88**		**Integrationsm.**	
2	541	35	2.41	2.20	45	7	09:41		116.14	90	0.97	
				1.93	45	8			93.12	121	1.31	
				1.45	45	9			73.58	135	1.46	
				0.48	45	10			80.41	166	1.79	
				0.10	45	11			79.72	164	1.77	
					81	**12**	**09:53**		**83.72**		**Integrationsm.**	
3	545	45	2.23	2.03	60	13	10:00		106.76	100	1.08	
				1.78	45	14			103.06	130	1.40	
				1.34	45	15			103.38	136	1.47	
				0.45	45	16			80.00	159	1.72	
				0.11	60	17			73.42	158	1.71	
					112	**18**	**10:12**		**104.21**		**Integrationsm.**	
4	548	55	1.95	1.75	60	19	10:17		92.77	87	0.94	
				1.56	45	20			89.48	120	1.30	
				1.17	45	21			84.96	138	1.49	
				0.39	45	22			79.20	150	1.62	
				0.10	45	23			73.04	160	1.73	
					71	**24**	**10:27**		**85.79**		**Integrationsm.**	
5	570	63	1.86	1.66	60	25	10:32		81.04	77	0.84	
				1.49	60	26			77.10	97	1.05	
				1.12	45	27			98.31	108	1.17	
				0.37	45	28			81.86	101	1.09	
				0.09	60	29	10:40		99.57	82	0.89	
					46	**30**	**10:43**		**90.00**		**Integrationsm.**	
		66										LuP

Schwebstoff Sondennahe Entnahme - Messprotokoll										
Messstelle: Lustenau/Rhein						**Datum: 03.08.2006**				
Entnahmegerät: Handschöpfgerät						Wasserstände am Pegel:				
Trübesonde: Ansprechzeit: Wischerintervall:						Beginn der Messung:			Uhrzeit: 08:10	[MEZ]
Wassertemperatur: Beginn: 14 °C Ende: 14 °C						Ende der Messung:			Uhrzeit: 10:51	[MEZ]
Bezügliche Vielpunkt- bzw. Integrationsentnahme:						Bemerkung: bei alter Eisenbahnbrücke				
Messtrupp: Kerschbaumsteiner W., Eberle R., Kremser H.										
Nr.der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wassertiefe	Entnahme-tiefe	ungefähre Entnahme-dauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Trübesonde Schwebstoff-messung	Schwebstoffkonzentration Cr	Bemerkung
	WS	b	t_V				Zeitpunkt der Probenentnahme			
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[s]		[I]-MEZ	[mg/l]		
	532					1	08:10	180	107.98	
	532					2	09:01	177	102.11	
	544					3	10:01	120	84.46	
	570					4	10:51	121	100.46	

Schwebstoff Vielpunkt-/Integrationsentnahme - Messprotokoll

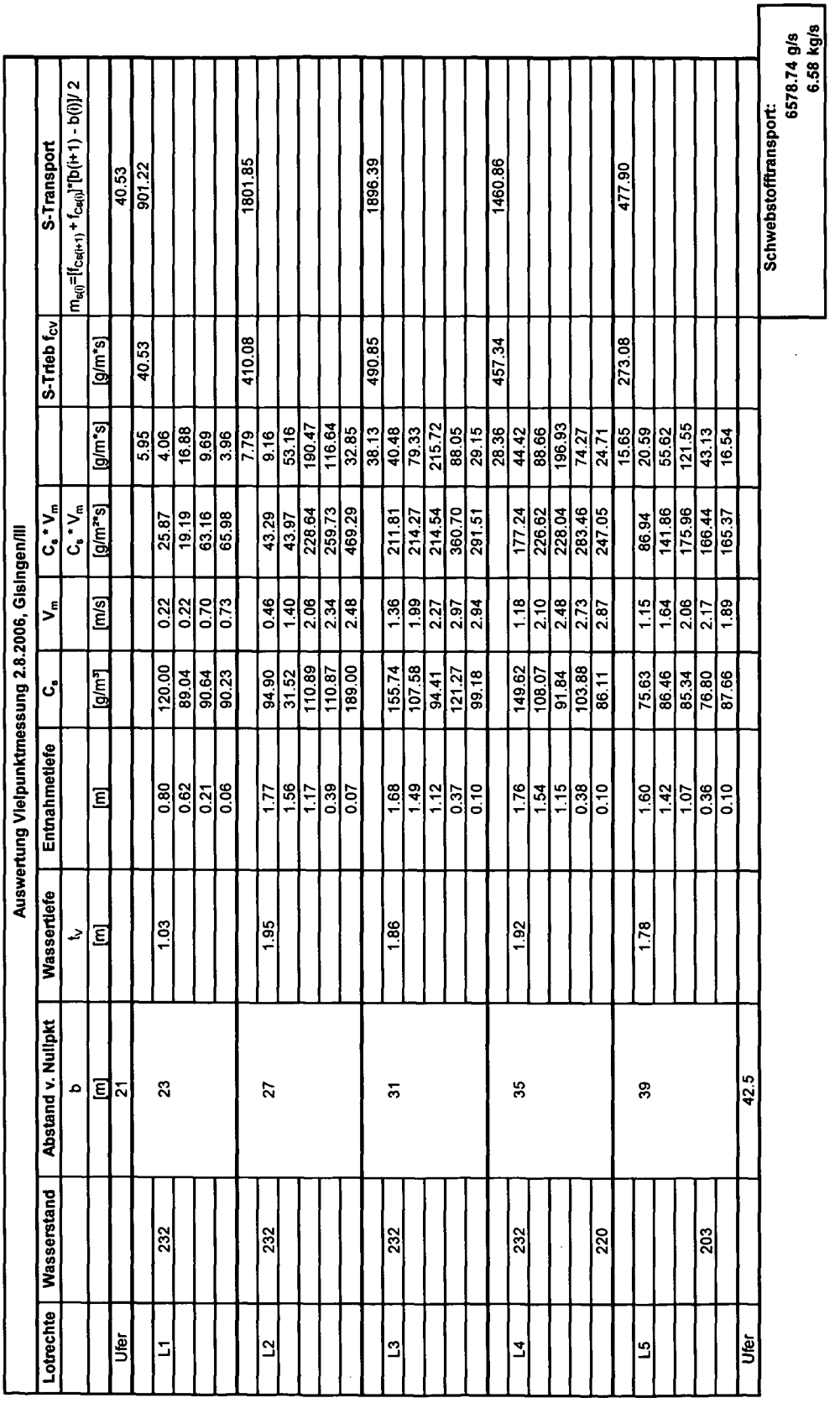
Messstelle: Lustenau/Rhein						**Datum: 13.09.2006**							
Entnahmegerät: US-P61A						Wasserstände am Pegel:							
Trübesonde: Solitx ts-line						Beginn der Messung:					Uhrzeit: 12:36		[MEZ]
Wassertemperatur: Beginn: 13.5 °C				Ende: 13.5 °C		Ende der Messung:					Uhrzeit: 15:13		[MEZ]
Messflügel - Nr. F767, 1.1546 Seba						Bemerkung:							
Messtrupp: Eberle R., Kremser H.													
Nr.der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wassertiefe	Entnahme-tiefe	Entnahme-dauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Schwebstoffgehalt			Geschwindigkeit		Bemerkung
											U/30s	v	
	WS	b	t_V				Zeitpunkt der Geräteauslösung	Tr	C				
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[s]		[l] -MEZ	[mg/l]	[mg/l]			[m/s]	
		20.5											RuP
1	583	25	2.95	2.74	65	1	14:05		41.05		43	0.47	
				2.36	65	2			36.80		58	0.63	
				1.77	50	3			38.15		118	1.27	
				0.59	50	4			45.45		146	1.58	
				0.08	50	5			35.37		156	1.68	
					54	6	14:17		35.90			Integrationsm.	
2	584	35	2.78	2.52	55	7	14:22		47.25		122	1.32	
				2.22	55	8			42.65		166	1.79	
				1.69	45	9			41.29		184	1.99	
				0.56	40	10			37.25		212	2.30	
				0.08	40	11			31.36		206	2.23	
					47	12	14:32		32.81			Integrationsm.	
3	584	45	2.48	2.25	55	13	14:36		48.62		141	1.52	
				1.98	55	14			41.11		139	1.50	
				1.49	50	15			35.50		179	1.94	
				0.50	43	16			35.75		206	2.23	
				0.08	41	17			34.73		207	2.24	
					48	18	14:46		32.86			Integrationsm.	
4	585	55	2.37	2.14	55	19	14:49		42.32		125	1.35	
				1.90	52	20			41.73		152	1.64	
				1.42	50	21			36.52		172	1.86	
				0.47	42	22			34.56		201	2.18	
				0.08	45	23			31.92		198	2.14	
					43	24	15:00		34.92			Integrationsm.	
5	585	63	2.40	2.15	58	25	15:03		32.74		102	1.10	
				1.92	55	26			31.93		121	1.31	
				1.44	53	27			30.54		150	1.62	
				0.48	53	28			30.19		152	1.64	
				0.08	57	29			29.41		140	1.51	
						30	15:12		30.00			Integrationsm.	
		69											LuP

Schwebstoff Sondennahe Entnahme - Messprotokoll

Messstelle: Lustenau/Rhein						**Datum: 13.09.2006**				
Entnahmegerät: Handschöpfgerät						Wasserstände am Pegel:				
Trübesonde:	Ansprechzeit:		Wischerintervall:			Beginn der Messung:			Uhrzeit: 13:51	[MEZ]
Wassertemperatur: Beginn: 13.5 °C			Ende: 13.5 °C			Ende der Messung:			Uhrzeit: 15:32	[MEZ]
Bezügliche Vielpunkt- bzw. Integrationsentnahme:						Bemerkung: bei alter Eisenbahnbrücke				
Messtrupp: Eberle R., Kremser H.										
Nr.der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wassertiefe	Entnahme-tiefe	ungefähre Entnahme-dauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Trübesonde Schwebstoff-messung	Schwebstoffkonz entration Cr	Bemerkung
	WS	b	t_V				Zeitpunkt der Probenentnahme			
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[s]		[l] -MEZ	[mg/l]		
	584					1	13:51	49	36.14	
	579					2	15:32	42	27.16	

8.3 Berechnung des Schwebstofftransports

8.3.1 Berechnung des Schwebstofftransports Gisingen/III



Auswertung Vielpunktmessung 2.8.2006, Gisingen/III

Lotrechte	Wasserstand	Abstand v. Nullpkt	Wassertiefe	Entnahmetiefe	C_s	V_m	$C_s * V_m$		S-Trieb f_{cv}	S-Transport
		b	t_V				$C_s * V_m$			$m_{s(i)}=[f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}]*b(i+1) - b(i)]/ 2$
		[m]	[m]	[m]	[g/m³]	[m/s]	[g/m²s]	[g/m²s]	[g/m²s]	
Ufer		21								40.53
L1	232	23	1.03	0.80	120.00	0.22	25.87	5.95	40.53	901.22
				0.62	89.04	0.22	19.19	4.06		
				0.21	90.64	0.70	63.16	16.88		
				0.06	90.23	0.73	65.98	9.69		
								3.96		
L2	232	27	1.95	1.77	94.90	0.46	43.29	7.79	410.08	1801.85
				1.56	31.52	1.40	43.97	9.16		
				1.17	110.89	2.06	228.64	53.16		
				0.39	110.87	2.34	259.73	190.47		
				0.07	189.00	2.48	469.29	116.64		
								32.85		
L3	232	31	1.86	1.68	155.74	1.36	211.81	38.13	490.85	1896.39
				1.49	107.58	1.99	214.27	40.48		
				1.12	94.41	2.27	214.54	79.33		
				0.37	121.27	2.97	360.70	215.72		
				0.10	99.18	2.94	291.51	88.05		
								29.15		
L4	232	35	1.92	1.76	149.62	1.18	177.24	28.36	457.34	1460.86
				1.54	108.07	2.10	226.62	44.42		
				1.15	91.84	2.48	228.04	88.66		
				0.38	103.88	2.73	283.46	196.93		
	220			0.10	86.11	2.87	247.05	74.27		
								24.71		
L5		39	1.78	1.60	75.63	1.15	86.94	15.65	273.08	477.90
				1.42	86.46	1.64	141.86	20.59		
				1.07	85.34	2.06	175.96	55.62		
	203			0.36	76.80	2.17	166.44	121.55		
				0.10	87.66	1.89	165.37	43.13		
Ufer		42.5						16.54		

Schwebstofftransport:
6578.74 g/s
6.58 kg/s

Auswertung Schwebstofftransport Vielpunktmessung 11.08.2006, Gisingen/III										
Lotrechte	**Wasserstand**	**Abstand v. Nullpkt**	**Wassertiefe**	**Entnahmetiefe**	**C_s**	**V_m**	**$C_s * V_m$**		**S-Trieb f_{CV}**	**S-Transport**
		b	t_V				$C_s * V_m$			$m_{s(i)}=[f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}]*[b(i+1) - b(i)]/ 2$
		[m]	[m]	[m]	[g/m³]	[m/s]	[g/m²*s]	[g/m*s]	[g/m*s]	
Ufer		19.35								75.82
								7.72	57.22	1060.97
L1	280	22	0.91	0.73	82.85	0.52	42.90	8.35		
		22		0.55	84.79	0.59	49.86	26.06		
		22		0.18	90.21	1.01	91.03	10.27		
		22		0.06	82.35	0.97	80.21	4.81		
								32.14	473.26	2196.92
L2	290	26	2.17	1.99	116.30	1.54	178.58	43.52		
		26		1.74	88.25	1.92	169.58	87.54		
		26		1.30	93.27	2.45	228.32	203.55		
		26		0.43	90.13	2.66	239.61	81.24		
		26		0.10	91.45	2.76	252.75	25.27		
								48.78	625.20	2764.17
L3	292	30	2.19	2.01	141.02	1.92	270.97	74.16		
		30		1.75	129.79	2.31	299.50	132.16		
		30		1.31	116.38	2.59	301.23	232.49		
		30		0.44	74.05	3.15	233.24	115.22		
		30		0.06	124.00	3.01	373.17	22.39		
								38.93	756.89	2677.77
L4	292	34	2.42	2.28	169.49	1.64	278.10	110.53		
	295	34		1.94	158.82	2.34	372.06	168.79		
		34		1.45	129.45	2.45	316.88	294.21		
		34		0.48	90.97	3.18	289.73	116.66		
		34		0.09	96.87	3.18	308.52	27.77		
								31.92	582.00	1548.12
L5	295	38	2.52	2.34	149.71	1.18	177.34	62.51		
		38		2.02	122.19	1.75	213.35	115.15		
		38		1.51	101.69	2.34	238.22	243.21		
		38		0.50	85.88	2.83	243.38	105.01		
		38		0.09	93.71	2.87	268.86	24.20		
Ufer		43.32								

Schwebstofftransport:
10323.78 g/s
10.32 kg/s

Auswertung Schwebstofftransport Integrationsmessung, 11.08.2006, Gisingen/III									
Lotrechte	**Wassertiefe**	**C_s**	**Vo**	**V0,4**	**V_m**	**$C_s * V_m$**	**S-Trieb**	**Abstand v. Nullpkt**	**S-Transport**
	h (t_v)					$C_s * V_m$	$f_{Cs}=(C_s * V_m)*h$	b	$m_{s(i)}=[(f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}/ 2]*(b_{(i+1)} - b_{(i)})$
	[m]	[g/m³]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[g/m²*s]	[g/m*s]	[m]	[g/s]
							0.00	19.35	78.57
L1	0.91	96.57	0.97	0.59	0.67	65.16	59.30	22	1235.88
L2	2.17	106.87	2.76	2.45	2.41	257.44	558.64	26	2978.81
L3	2.19	165.04	3.01	2.59	2.58	425.00	930.76	30	4051.46
L4	2.42	178.20	3.18	2.45	2.54	452.47	1094.97	34	4034.84
L5	2.52	154.24	2.87	2.34	2.37	366.05	922.45	38	2453.72
							0.00	43.32	0.00

Schwebstofftransport:
14833.28 g/s
14.83 kg/s

Auswertung - Schwebstofftransport - Vielpunktentnahme - 28.08.2006 - Gisingen/III									
Lotrechte	**Abstand v. Nullpkt**	**Wassertiefe**	**Entnahmetiefe**	**C_s**	**V_m**	**$C_s * V_m$**		**S-Trieb f_{CV}**	**S-Transport**
	b	t_V				$C_s * V_m$			$m_{s(i)}=[f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}]*[b(i+1) - b(i)]/ 2$
	[m]	[m]	[m]	[g/m³]	[m/s]	[g/m²*s]	[g/(m*s)]	[g/(m*s)]	[g/s]
Ufer	18.8	0.00							282.00
							15.49	176.25	1912.23
L1	22	1.24	1.06	118.18	0.73	86.08	6.77		
	22		0.99	134.34	0.80	107.28	30.63		
	22		0.74	127.67	1.08	137.79	77.25		
	22		0.25	130.51	1.36	177.50	34.79		
	22		0.06	128.77	1.47	188.69	11.32		
							24.10	779.86	3958.61
L2	26	2.50	2.32	167.68	0.80	133.90	75.82		
	26		2.00	156.87	2.17	339.97	164.85		
	26		1.50	134.34	2.38	319.43	336.10		
	26		0.50	134.47	2.62	352.77	157.27		
	26		0.06	132.70	2.73	362.10	21.73		
							79.93	1199.44	4987.08
L3	30	2.68	2.50	239.86	1.85	444.06	168.93		
	30		2.14	193.65	2.55	494.43	447.29		
	30		1.16	147.64	2.83	418.41	271.56		
	30		0.54	139.08	3.29	457.60	148.52		
	30		0.20	125.12	3.33	416.06	83.21		
							115.61	1294.10	4469.22
L4	34	2.76	2.48	223.02	1.85	412.89	151.80		
	34		2.21	228.46	3.11	711.59	309.67		
	34		1.66	153.88	2.69	414.49	495.76		
	34		0.55	152.00	3.15	478.77	175.10		
	34		0.13	107.91	3.29	355.04	46.16		
							38.21	940.51	2614.62
L5	38	2.88	2.70	174.06	1.22	212.30	99.97		
	38		2.30	152.44	1.89	287.57	179.78		
	38		1.73	134.44	2.55	343.25	393.78		
	38		0.58	114.84	2.97	341.57	89.97		
	38		0.34	134.08	3.04	408.21	138.79		
Ufer	43.56	0.00							

Schwebstofftransport:
18223.76 g/s
18.22 kg/s

Auswertung - Schwebstofftransport - Integrationsmessung - 28.08.2006 - Gisingen/III									
Lotrechte	**Wassertiefe**	**C_s**	**Vo**	**V0,4**	**V_m**	**$C_s * V_m$**	**S-Trieb**	**Abstand v. Nullpkt**	**S-Transport**
	h (t_v)					$C_s * V_m$	$f_{Cs}=(C_s * V_m)*h$	b	$m_{s(i)}=[(f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}/ 2]*(b_{(i+1)} - b_{(i)})$
	[m]	[g/m³]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[g/m²*s]	[g/m*s]	[m]	[g/s]
					0		0.00	18.8	289.75
L1	1.24	128.06	1.47	1.08	1.14	146.04	181.09	22	2296.06
L2	2.50	164.22	2.73	2.38	2.36	386.77	966.94	26	5005.41
L3	2.68	202.74	3.33	2.83	2.83	573.05	1535.77	30	6365.87
L4	2.76	218.98	3.29	2.69	2.73	596.80	1647.17	34	5997.72
L5	2.88	183.40	3.04	2.55	2.56	469.34	1351.70	38	3757.72
								43.56	

Schwebstofftransport:
23712.53 g/s
23.71 kg/s

Auswertung - Schwebstofftransport - Vielpunktmessung - 30.08.2006 - Gisingen/ III										
Lotrechte	Wasserstand	stand v. Null	Wassertiefe	ntnahmetief	C_s	V_m	$C_s * V_m$		S-Trieb f_{CV}	S-Transport
		b	t_V				$C_s * V_m$			$m_{s(i)}=[f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}]*[b(i+1) - b(i)]/ 2$
		[m]	[m]	[m]	[g/m³]	[m/s]	[g/m²*s]	[g/m*s]	[g/m*s]	
Ufer		18.52								1156.64
								53.01	664.74	6252.12
L1	342	22	1.57	1.37	335.50	0.79	265.05	33.49		
		22		1.26	318.32	1.08	343.79	131.36		
		22		0.94	309.86	1.54	477.18	293.05		
		22		0.31	239.76	1.89	453.15	112.10		
		22		0.08	305.06	1.71	521.65	41.73		
								108.17	2461.32	12137.17
L2	341	26	2.76	2.57	406.66	1.40	569.32	240.72		
		26		2.21	360.58	2.13	768.04	481.54		
		26		1.66	385.50	2.55	983.03	1108.22		
		26		0.55	344.82	2.94	1013.77	432.03		
		26		0.10	328.39	2.76	906.36	90.64		
								394.79	3607.26	15928.01
L3	344	30	2.92	2.68	798.53	2.06	1644.97	541.57		
		30		2.34	604.21	2.55	1540.74	701.05		
		30		1.75	274.90	3.04	835.70	1250.55		
		30		0.58	387.50	3.36	1302.00	587.51		
		30		0.11	367.50	3.26	1198.05	131.79		
								314.78	4356.74	15118.78
L4	343	34	2.99	2.77	786.17	1.82	1430.83	531.52		
		34		2.39	508.05	2.69	1366.65	889.55		
		34		1.79	525.83	3.04	1598.52	1805.19		
		34		0.60	422.18	3.40	1435.41	685.17		
		34		0.10	354.69	3.68	1305.26	130.53		
								55.12	3202.65	9992.26
L5	343	38	3.16	2.98	519.05	0.59	306.24	303.88		
		38		2.53	433.33	2.41	1044.33	671.35		
	332	38		1.90	384.08	2.83	1086.95	1444.05		
		38		0.63	381.72	3.11	1187.15	614.92		
	364	38		0.10	337.29	3.36	1133.29	113.33		
Ufer		44.24								

Schwebstofftransport:
60584.99 g/s
60.58 kg/s

Auswertung - Schwebstofftransport - Integrationsmessung - 30.08.2006 - Gisingen/Ill									
Lotrechte	**Wassertiefe**	**C_s**	Vo	V0,4	**V_m**	**$C_s * V_m$**	**S-Trieb**	**Abstand v. Nullpkt**	**S-Transport**
	h (t_v)					$C_s * V_m$	$f_{Cs}=(C_s * V_m)*h$	b	$m_{s(i)}=[(f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}/ 2]*(b_{(i+1)} - b_{(i)})$
	[m]	[g/m³]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[g/m²*s]	[g/m*s]	[m]	[g/s]
rechtes Ufer	0				0		0.00	18.52	1542.80
L1	1.57	374.89	1.71	1.54	1.51	564.76	886.67	22	7245.14
L2	2.76	400.95	2.76	2.55	2.47	991.27	2735.90	26	16563.90
L3	2.92	646.48	3.26	3.04	2.94	1899.33	5546.05	30	28124.36
L4	2.99	928.31	3.68	3.04	3.07	2848.20	8516.13	34	26957.67
L5	3.16	553.80	3.36	2.83	2.84	1570.48	4962.71	38	15483.65
linkes Ufer	0				0		0.00	44.24	0.00

Schwebstofftransport:
95917.53 g/s
95.92 kg/s

8.3.2 Berechnung des Schwebstofftransports Lustenau/Rhein

Auswertung - Schwebstofftransport - Vielpunktmessung - 03.08.2006 - Lustenau/Rhein										
Lotrechte	**Wasserstand**	**Abstand v. Nullpkt**	**Wassertiefe**	**Entnahmetiefe**	**C_s**	**V_m**	**$C_s * V_m$**		**S-Trieb f_{CV}**	**S-Transport**
		b	t_V				$C_s * V_m$			$m_{s(i)}=[f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}]*[b(i+1) - b(i)]/ 2$
		[m]	[m]	[m]	[g/m³]	[m/s]	[g/m²*s]	[g/m*s]	[g/m*s]	
Ufer		21								763.26
								7.37	190.82	2456.94
L1	537	25	2.41	2.21	83.72	0.44	36.84	13.99		
		25		1.93	100.18	0.63	63.11	37.03		
		25		1.45	100.19	0.91	91.17	95.57		
		25		0.48	112.64	0.94	105.88	29.74		
		25		0.12	70.62	0.84	59.32	7.12		
								23.66	300.57	3043.29
L2	541	35	2.41	2.20	116.14	0.97	112.66	31.68		
		35		1.93	93.12	1.31	121.99	55.06		
		35		1.45	73.58	1.46	107.43	121.91		
		35		0.48	80.41	1.79	143.93	54.16		
		35		0.10	79.72	1.77	141.10	14.11		
								23.06	308.09	2706.01
L3	545	45	2.23	2.03	106.76	1.08	115.30	32.45		
		45		1.78	103.06	1.40	144.28	65.18		
		45		1.34	103.38	1.47	151.97	128.86		
		45		0.45	80.00	1.72	137.60	44.74		
		45		0.11	73.42	1.71	125.55	13.81		
								17.44	233.12	1620.48
L4	548	55	1.95	1.75	92.77	0.94	87.20	19.34		
		55		1.56	89.48	1.30	116.32	47.37		
		55		1.17	84.96	1.49	126.59	99.41		
		55		0.39	79.20	1.62	128.30	36.93		
		55		0.10	73.04	1.73	126.36	12.64		
								13.61	172.01	258.01
L5	570	63	1.86	1.66	81.04	0.84	68.07	12.67		
		63		1.49	77.10	1.05	80.96	36.26		
		63		1.12	98.31	1.17	115.02	76.59		
		63		0.37	81.86	1.09	89.23	24.90		
		63		0.09	99.57	0.89	88.62	7.98		
Ufer		66								

Schwebstofftransport:
10848.00 g/s
10.85 kg/s

Auswertung - Schwebstofftransport - Integrationsmessung - 13.09.2006 - Lustenau/Rhein									
Lotrechte	**Wassertiefe**	**C_s**	Vo	V0,4	**V_m**	**$C_s * V_m$**	**S-Trieb**	**Abstand v. Nullpkt**	**S-Transport**
	h (t_v)					$C_s * V_m$	$c_s=(C_s * V_m)*$	b	$m_{s(i)}=[(f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}/ 2]*(b_{(i+1)} - b_{(i)})$
	[m]	[g/m³]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[g/m²*s]	[g/m*s]	[m]	[g/s]
rechtes Ufer	0				0		0.00	21	435.40
L1	2.41	107.88	0.84	0.91	0.84	90.33	217.70	25	2575.86
L2	2.41	83.72	1.77	1.46	1.47	123.43	297.47	35	3186.20
L3	2.23	104.21	1.71	1.47	1.46	152.36	339.77	45	2937.60
L4	1.95	85.79	1.73	1.49	1.48	127.05	247.75	55	1672.44
L5	1.86	90.00	0.89	1.17	1.02	91.59	170.36	63	255.54
linkes Ufer	0				0		0.00	66	0.00

Schwebstofftransport:
11063.05 g/s
11.06 kg/s

Auswertung Schwebstofftransport 13.09.06, Rhein										
Lotrechte	**Wasserstand**	**Abstand v. Nullpkt**	**Wassertiefe**	**Entnahmetiefe**	**C_s**	**V_m**	**$C_s * V_m$**		**S-Trieb f_{CV}**	**S-Transport**
		b	t_V				$C_s * V_m$			$m_{s(i)}=[f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}]*[b(i+1) - b(i)]/ 2$
		[m]	[m]	[m]	[g/m³]	[m/s]	[g/m²*s]	[g/m*s]	[g/m*s]	
Ufer		20.5								4502.55
								4.05	2001.13	11089.67
L1	583	25	2.95	2.74	41.05	0.47	19.29	8.07		
		25		2.36	36.80	0.63	23.18	21.13		
		25		1.77	38.15	1.27	48.45	70.95		
		25		0.59	45.45	1.58	71.81	33.46		
		25		0.08	35.37	1.68	59.42	1863.46		
								16.22	216.80	1984.68
L2	584	35	2.78	2.52	47.25	1.32	62.37	20.81		
		35		2.22	42.65	1.79	76.34	42.01		
		35		1.69	41.29	1.99	82.17	94.83		
		35		0.56	37.25	2.30	85.68	37.35		
		35		0.08	31.36	2.23	69.93	5.59		
								17.00	180.14	1713.00
L3	584	45	2.48	2.25	48.62	1.52	73.90	18.30		
		45		1.98	41.11	1.50	61.67	31.98		
		45		1.49	35.50	1.94	68.87	73.55		
		45		0.50	35.75	2.23	79.72	33.08		
		45		0.08	34.73	2.24	77.80	6.22		
								13.14	162.46	1088.73
L4	585	55	2.37	2.14	42.32	1.35	57.13	15.07		
		55		1.90	41.73	1.64	68.44	32.73		
		55		1.42	36.52	1.86	67.93	68.05		
		55		0.47	34.56	2.18	75.34	28.01		
		55		0.08	31.92	2.14	68.31	5.46		
								9.00	109.72	329.16
L5	585	63	2.40	2.15	32.74	1.10	36.01	8.95		
		63		1.92	31.93	1.31	41.83	21.91		
		63		1.44	30.54	1.62	49.47	47.51		
		63		0.48	30.19	1.64	49.51	18.78		
		63		0.08	29.41	1.51	44.41	3.55		
Ufer		69			30.96					

Schwebstofftransport:
20707.79 g/s
20.71 kg/s

Auswertung - Schwebstofftransport - Integrationsmessung - 13.09.2006 - Lustenau/Rhein									
Lotrechte	**Wassertiefe**	**C_s**	Vo	V0,4	**V_m**	**$C_s * V_m$**	**S-Trieb**	**Abstand v. Nullpkt**	**S-Transport**
	h (t_v)					$C_s * V_m$	$f_{Cs}=(C_s * V_m)*h$	b	$m_{s(i)}=[(f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}/ 2]*(b_{(i+1)} - b_{(i)})$
	[m]	[g/m³]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[g/m²*s]	[g/m*s]	[m]	[g/s]
rechtes Ufer	0				0		0.00	20.5	315.96
L1	2.95	35.90	1.68	1.27	1.33	47.60	140.43	25	1592.80
L2	2.78	32.81	2.23	1.99	1.95	64.08	178.13	35	1674.77
L3	2.48	32.86	2.24	1.94	1.92	63.23	156.82	45	1554.47
L4	2.37	34.92	2.14	1.89	1.86	65.01	154.07	55	1046.90
L5	2.40	30.00	1.51	1.62	1.50	44.86	107.65	63	322.96
linkes Ufer	0				0		0.00	69	0.00

Schwebstofftransport:
6507.86 g/s
6.51 kg/s